

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-319284

(43)Date of publication of application : 15.11.1994

(51)Int.Cl.

H02P 5/00
G05B 13/02
G05D 3/12
G05D 13/62

(21)Application number : 05-310385

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 10.12.1993

(72)Inventor : YOSHIDA SHUICHI
DOJIRO YUKIHIRO
MATSUKAWA SHIGERU

(30)Priority

Priority number : 04330173 Priority date : 10.12.1992 Priority country : JP
05 51893 12.03.1993

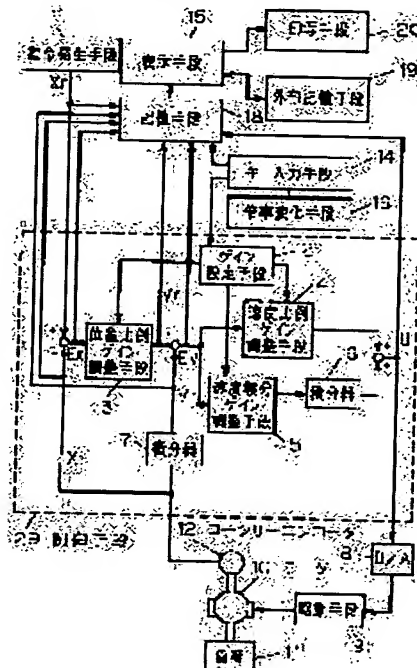
JP

(54) APPARATUS AND METHOD FOR REGULATING CONTROL PARAMETER OF SERVOMOTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable an inexperienced man to automatically regulate the control parameter of a controller easily in the controller of a servomotor for driving a machine tool, robot, etc.

CONSTITUTION: The parameter-regulating apparatus of a servomotor contains a gain-setting means 2 for conducting the regulation of a plurality of control parameters (position proportional gain, velocity proportional gain, velocity storage gain) included in the control system of the servomotor 10, a storage means 18 for retaining at least any control signal out of position command, position, position error, velocity command, velocity, velocity error, torque command and torque of the servomotor 10 and a display means 15 for displaying the output signal of the storage means 18.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.11.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3178202

[Date of registration] 13.04.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

特開平 6 - 3 1 9 2 8 4

(43) 公開日 平成 6 年 (1994) 11 月 15 日

(51) Int. Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H02P 5/00		F 9063-5H		
G05B 13/02		A 9131-3H		
G05D 3/12	305	V 9179-3H		
13/62		P 9132-3H		

審査請求 未請求 請求項の数 29 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願平 5 - 3 1 0 3 8 5

(22) 出願日 平成 5 年 (1993) 12 月 10 日

(31) 優先権主張番号 特願平 4 - 3 3 0 1 7 3

(32) 優先日 平 4 (1992) 12 月 10 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平 5 - 5 1 8 9 3

(32) 優先日 平 5 (1993) 3 月 12 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 0 0 0 0 5 8 2 1
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

(72) 発明者 吉田 修一
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下
電器産業株式会社内

(72) 発明者 堂城 行広
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下
電器産業株式会社内

(72) 発明者 松川 茂
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下
電器産業株式会社内

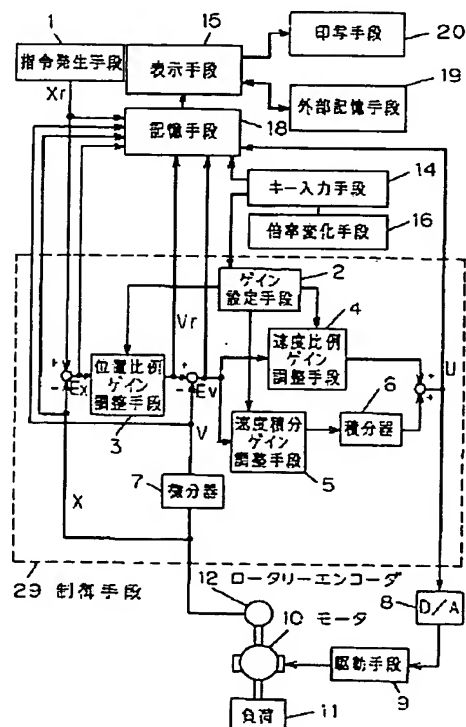
(74) 代理人 弁理士 小鍛治 明 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】 サーボモータの制御パラメータ調整装置及び調整方法

(57) 【要約】

【目的】 工作機械、ロボット等を駆動するサーボモータの制御装置において、その制御装置の制御パラメータを非熟練者が簡易に自動調整することを可能にする。

【構成】 サーボモータのパラメータ調整装置は、サーボモータ 10 の制御系に含まれる複数の制御パラメータ（位置比例ゲイン、速度比例ゲイン、速度積分ゲイン）の調整を行うゲイン設定手段 2 と、前記サーボモータの位置指令、位置、位置偏差、速度指令、速度、速度偏差、トルク指令、トルクの少なくともいずれかの制御信号を保持する記憶手段 18 と、該記憶手段の出力信号を表示する表示手段 15 とを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】サーボモータを制御するために用いられる複数の制御パラメータを調整する装置であって、該複数の制御パラメータのうち少なくとも 1 つの制御パラメータを修正する第 1 の修正手段と、

該第 1 の修正手段によって修正された該少なくとも 1 つの制御パラメータの変化を計算する計算手段と、
該計算された変化に基づいて、該複数の制御パラメータのうち該第 1 の修正手段によって修正された該少なくとも 1 つの制御パラメータ以外の制御パラメータを修正する第 2 の修正手段とを備えた装置。

【請求項 2】前記第 1 の修正手段は、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記少なくとも 1 つの制御パラメータを調整する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】前記第 2 の修正手段は、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように、前記複数の制御パラメータのうち前記第 1 の修正手段によって修正された前記少なくとも 1 つの制御パラメータ以外の制御パラメータを調整する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】前記計算手段は、前記少なくとも 1 つの制御パラメータの修正前の値、及び前記第 1 の修正手段によって修正された該少なくとも 1 つの制御パラメータに基づいて、前記変化を計算する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系を含み、

前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、該サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ、及び該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータのうち少なくとも 1 つを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる位置サーボ系を含み、前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系と、該サーボモータの位置を所定の位置に追従させる位置サーボ系とを含み、

前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、該サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータと、該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータと、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータとのうち少なくとも 1 つを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、

前記速度比例パラメータであり、

前記複数の制御パラメータのうち前記第 1 の修正手段によって修正された前記少なくとも 1 つの制御パラメータ以外の制御パラメータは、前記速度積分パラメータと、前記位置比例パラメータとであり、

前記第 2 の修正手段は、該速度積分パラメータに該速度比例パラメータの変化の 2 乗を乗算するための手段と、該位置比例パラメータに該速度比例パラメータの該変化を乗算するための手段とを有する請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】前記装置は、前記少なくとも 1 つの制御パラメータを所定の倍率で増減させるためのキー入力手段、及び所定の倍率を変化させる倍率変化手段を更に備える、請求項 7 に記載の装置。

【請求項 10】前記装置は、前記サーボモータの目標とする回転指令を与える指令発生手段と、
該サーボモータの回転情報を検出し、検出された該回転情報を示す回転情報信号を生成する検出手段と、
該回転情報信号と該回転指令の偏差を計算する偏差計算手段と、

該回転情報信号、該回転指令、該偏差のうち少なくとも 1 つを記憶する記憶手段と、

該記憶手段が出力する該回転情報信号、該回転指令、該偏差のうち少なくとも 1 つを時系列的に表示する表示手段とを更に備えている請求項 7 に記載の装置。

【請求項 11】前記表示手段は、前記回転情報信号、前記回転指令、前記偏差のうち少なくとも 1 つを選択する選択手段と、

該選択手段が選択された信号を生成する第 1 の信号を時系列に従い記憶する第 1 のメモリ手段と、

所定の振幅レベル基準に基づき該第 1 のメモリ手段が生成する第 2 の信号を受け取る出力手段と、

該出力手段が生成する第 3 の信号を時系列に従い記憶し、且つ第 4 の信号を生成する第 2 のメモリ手段と、

該第 3 の信号を前記表示手段に表示する表示倍率を設定する表示倍率設定手段と、

該所定の振幅レベル基準、該第 4 の信号の振幅方向の表示範囲、該第 4 の信号の時間軸方向の表示範囲、及び該表示倍率を記憶するデータ記憶手段とを更に備える請求項 10 に記載の装置。

【請求項 12】前記装置は、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ調整手段と、前記速度サーボ系の前記定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータ調整手段と、

該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータ調整手段と、

前記検出手段に検出された前記回転情報信号を微分することによって得られる微分信号を生成する微分手段とを更に備えている、請求項 10 に記載の装置。

【請求項 13】前記装置は、前記位置比例信号と前記微

分信号とに基づき、ゲインと周波数との関係を示すゲイン特性及び位相と該周波数との関係とを示す位相特性を計算する制御特性分析手段を更に備え、

該制御特性分析手段は、前記検出手段と、前記微分手段と、前記位置比例パラメータ調整手段とに接続される、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 4】特定の周波数に対応するゲインを抑制する共振抑制手段と、該特定の周波数を表す信号を該共振抑制手段に入力するサンプリング切替手段とを備える請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 5】前記共振抑制手段に入力される前記特定の周波数を表す信号は、前記キー入力手段より入力される請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 6】前記装置は、前記検出手段が発生する前記回転情報、及びサーボモータに入力される信号に基づき、前記特定の周波数を表す信号を生成する共振検出手段を更に備える、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 7】前記共振検出手段は、負荷を印加した前記サーボモータを、数式を用いてモデル化した数式モデル手段であって、該サーボモータに入力される前記信号に基づいて前記回転情報信号から共振信号を除いたモデル信号を生成する数式モデル手段と、

該モデル信号と前記検出手段が生成する前記回転情報信号との誤差を計算する誤差検出手段と、

該誤差検出手段によって計算された該誤差に基づいて、該誤差が最小となるように、前記特定の周波数を表す前記信号を生成するサンプル選択手段とを含む、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 8】前記装置は、前記検出手段が生成する回転情報信号に基づき、サーボモータの共振信号を生成する共振分析手段と、

該共振信号に基づき共振音を生成する共振音合成手段とを更に備える、請求項 1 6 に記載の装置。

【請求項 1 9】前記共振音合成手段は、前記共振分析手段によって生成される共振信号の周波数を可聴周波数に変換する周波数変換手段と、

前記共振の振幅を増幅する増幅手段とを備える請求項 1 8 に記載の装置。

【請求項 2 0】前記共振抑制手段は、デジタルフィルタを有し、前記ゲインが抑制される特定の割合及び該ゲインが抑制される前記特定の周波数に基づき該デジタルフィルタを改変し、

前記サンプリング切替手段は、該デジタルフィルタに前記特定の周波数を表す信号を供給する、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 2 1】サーボモータを制御するために用いられる複数の制御パラメータを調整する方法であって、該方法は、

該複数の制御パラメータのうち少なくとも 1 つの制御パラメータを修正する第 1 のステップと、

該第 1 のステップによって修正された少なくとも 1 つの制御パラメータの変化を計算する第 2 のステップと、該計算された変化に基づいて、該複数の制御パラメータのうち該第 1 のステップによって修正された該少なくとも 1 つの制御パラメータ以外の制御パラメータを修正する第 3 のステップとを包含する方法。

【請求項 2 2】前記第 1 のステップは、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記少なくとも 1 つの制御パラメータを調整するステップである、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 3】前記第 3 のステップは、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記複数の制御パラメータのうち前記第 1 のステップによって修正された前記少なくとも 1 つの制御パラメータ以外の制御パラメータを調整するステップである、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 4】前記第 2 のステップは、前記少なくとも 1 つの制御パラメータの修正前の値、及び前記第 1 のステップによって修正された前記少なくとも 1 つの制御パラメータとに基づいて、前記変化を計算するステップである、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 5】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系を含み、

前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ、及び該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータのうち少なくとも 1 つを含む、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 6】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる位置サーボ系を含み、

前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータを含む、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 7】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系と、前記サーボモータの位置を所定の位置に追従させる位置サーボ系とを含み、

前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータと、該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータと、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータとのうち少なくとも 1 つを含む、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 8】前記少なくとも 1 つの制御パラメータは、前記速度比例パラメータであり、前記複数の制御パラメータのうち前記第 1 のステップによって修正された前記少なくとも 1 つの制御パラメータ

以外の制御パラメータは、前記速度積分パラメータ及び前記位置比例パラメータとであり、

前記第 3 のステップは、該速度積分パラメータに該速度比例パラメータの前記変化の 2 乗を乗算するためのステップと、

該位置比例パラメータに該速度比例パラメータの該変化を乗算するためのステップとを包含する請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 2 9】前記サーボモータの加速及び減速を指令する回転指令信号及び該回転指令信号を該サーボモータ 10 が受け取ったときの該サーボモータのトルクに基づいて、負荷が印加された該サーボモータのイナーシャを推定するステップを更に包含する、請求項 2 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、工作機械、ロボット、プリンタ等を駆動するサーボモータの制御装置において、その制御装置の制御パラメータを調整するサーボモータの制御パラメータ調整装置と調整方法とに関するものである。 20

【0002】

【従来の技術】一般にサーボモータの制御系は、サーボモータから検出される回転位置情報と、コントローラから送られる回転位置指令との誤差が極めて小さくなるようにサーボモータに駆動指令を送る位置閉ループ制御系、及び取り込んだ回転位置情報を微分して求められる回転速度情報と、コントローラから送られる回転速度指令との誤差が極めて小さくなるようにサーボモータに駆動指令を送る速度閉ループ制御系のうち少なくとも一方を備える。 30

【0003】図 2 1 にサーボモータの制御系のブロック図を示す。図 2 1 において、制御系は、サーボモータの回転速度情報をフィードバックする速度ループと、サーボモータの回転位置情報をフィードバックする位置ループとで構成されている。速度ループには、速度追従定常偏差を除去する為の積分器 6 が挿入されている。

【0004】この図 2 1 には、サーボモータと同軸に設けられた負荷とサーボモータとの実機モデル 1 0 9 が示されている。ここで J M はサーボモータ回転子のイナーシャ、J L は負荷のイナーシャを意味する。サーボモータの回転位置は測角センサであるロータリーエンコーダ 1 2 によって検出され、位置ループにフィードバックされる。位置フィードバック量の大きさは位置ループ内に配置された位置比例ゲイン K p により決定される。位置比例ゲインは、位置ループの安定を保持しつつ、回転位置指令 X r と実際のサーボモータの回転位置 X との偏差 E x が十分に小さくなるように調整する。また、ロータリーエンコーダ 1 2 によって検出された回転位置信号 X は、微分器 7 により回転速度 V に変換され、速度ループ 50

にフィードバックされる。速度フィードバック量の大きさは速度ループ内に配置された速度比例ゲイン K v p により決まる。速度比例ゲインは、負荷が振動しない範囲でかつ、位置比例ゲインからの出力に基づき、回転速度指令 V r とサーボモータの回転速度 V の偏差 E v が最小になるように調整される。速度ループ内の積分器 6 のゲインは、速度積分ゲイン K v i により決定される。速度積分ゲインは、回転速度指令とサーボモータの回転速度との定常偏差が最小になり、かつ振動の起きない値に調整される。

【0005】図 2 2 は、従来のサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成図を示している。指令発生手段 1 は、NC 装置で実現できる。サーボモータの制御パラメータ調整装置は、位置比例ゲイン調整手段 3、速度比例ゲイン調整手段 4、速度積分ゲイン調整手段 5、積分器 6、微分器 7、サーボモータと同軸に設けられたロータリーエンコーダ 1 2、及び数値入力手段 1 3 を備えている。点線で囲んだ部分は、主にマイコン（不図示）により処理される。

【0006】以上のように構成されたサーボモータの制御パラメータ調整装置の動作について説明する。

【0007】サーボモータ 1 0 の回転位置指令 X r は、指令発生手段 1 からマイコンに送られる。マイコンは、一方ではロータリーエンコーダ 1 2 から出力されるサーボモータ 1 0 の回転情報を回転位置 X として取り込み、回転位置 X と回転位置指令 X r との偏差である回転位置誤差 E x を求める。次に、位置比例ゲイン調整手段 3 は、求められた回転位置誤差 E x に位置比例ゲインを乗算する。得られた信号は、回転速度指令 V r として速度ループに印加され、回転速度指令 V r と、回転位置 X を微分器 7 により微分して求めた回転速度 V との間で偏差が求められる。求められた回転速度誤差信号 E v に、比例補償及び積分補償を施す。ここで、比例補償とは、速度比例ゲイン調整手段 4 により、速度比例ゲインと回転速度誤差信号 E v とが乗算されることをいう。また、積分補償とは、速度積分ゲイン調整手段 5 において速度積分ゲインと回転速度誤差信号 E v とが乗算された後、乗算された信号が積分器 6 により積分演算されることをいう。それぞれの演算結果は最後に加算される。加算結果は、D/A コンバータ 8 に転送される。D/A コンバータ 8 の出力は、駆動手段 9 内部で 3 相の電流指令に変換され、サーボモータ 1 0 を駆動し、サーボモータ 1 0 を任意の回転位置に回転させる。

【0008】位置比例ゲイン、速度比例ゲイン、及び速度積分ゲインの設定は、数値入力手段 1 3 により各制御ゲインが入力され、各制御ゲインを位置比例ゲイン調整手段 3、速度比例ゲイン調整手段 4、及び速度積分ゲイン調整手段 5 に転送することによって行われる。各調整手段は、各入力制御信号に、転送された制御ゲインを乗算する処理を行う。

【0009】次に従来のサーボモータの制御パラメータの具体的な調整方法を示す。図23にサーボモータの制御系の速度に関する開ループ伝達関数の周波数特性を示す。この図23はゲイン特性(1)と位相特性(2)とを表している。図23(1)で、実線で示された曲線a1と帰還ゲインが0dBを示す軸線との交点をゲイン交点という。この交点での曲線a1の周波数を f_0 とする。図23(2)において、この周波数 f_0 での曲線b1の位相角と -180° との進み量を位相余裕という。この位相余裕は制御系の安定度の評価量として用いられる。

【0010】速度比例ゲイン調整手段4によって乗算される速度比例ゲイン K_{vp} は、速度ループの比例項の値であり、速度比例ゲイン K_{vp} により、速度ループの帰還ゲインとゲイン交点周波数とが決定される。速度比例ゲイン K_{vp} を調整することにより、負荷に機械的な高次共振が存在する場合においても、機械共振成分が制御系に帰還されて制御系が発振することなく、かつ、制御系が安定な範囲内で、帰還ゲインを十分に大きくできる。図23のボード線図は、機械共振の特性を示している。機械共振周波数における帰還ゲインのピークが0dBを越える場合には発振がサーボモータの制御系に起きる。速度積分ゲイン調整手段5によって乗算される速度積分ゲイン K_{vi} は、速度ループの積分項の値であり、速度ループの定常偏差を除去する役割がある。 K_{vi} の値が大きいほど定常偏差は小さくなるが、ゲイン交点での位相余裕が減少し制御系が不安定になる。 K_{vi} の値は、速度比例ゲイン K_{vp} の調整と同様にゲイン交点での位相余裕が十分に大きくなり、かつ制御系が不安定にならない範囲で低域の帰還ゲインが十分に大きくなる値に調整される。位置比例ゲイン K_p の値は、 K_{vi} の調整と同様に、制御系が不安定にならない範囲で帰還ゲインが十分に大きくなる値に調整される。

【0011】一般には、帰還ゲインの大きさと制御系の安定性は、位置決め制御では回転位置指令と回転位置を、回転制御では回転速度指令と回転速度を、それぞれオシロスコープ等の計測装置で観察することによって把握できる。以下にオシロスコープを使用した従来の制御パラメータ調整方法を図22を参照しつつ説明する。

【0012】第一に位置決め制御時の調整方法を示す。まず速度比例ゲイン K_{vp} 、速度積分ゲイン K_{vi} 、位置比例ゲイン K_p の値を十分小さい値に設定しておく。回転位置指令 X_r をサーボモータに入力する。回転位置 X をオシロスコープで観察しながら速度比例ゲイン K_{vp} の値を徐々に上げて行く。回転位置 X が機械的高次共振周波数とほぼ同等の周波数で振動し始めたならば、速度比例ゲイン K_{vp} をわずかに下げる。なぜなら、機械共振成分が制御系に帰還されていることを意味しているからである。更に、回転位置 X の振動がなくなったところで速度比例ゲイン K_{vp} 調整を終了する。次に、回転

位置 X を観察しながら、速度積分ゲイン K_{vi} の値を徐々に上げて行く。回転位置 X がゲイン交点周波数とほぼ同等の周波数で振動し始めれば、ゲイン交点での位相余裕が足りなくなっていることを意味するので、速度積分ゲイン K_{vi} をわずかに下げる。更に、回転位置 X の振動がなくなったところで、速度積分ゲイン調整を終了する。最後に位置比例ゲイン K_p の調整を行う。帰還ゲインが足りない場合、誤差量 E_x が小さくなるように位置比例ゲイン K_p を徐々に上げて行く。位置比例ゲイン K_p を上げすぎると、速度積分ゲイン K_{vi} の調整と同様にゲイン交点での位相余裕が減少するので、回転位置が振動しない範囲で誤差量 E_x が最小になるように位置比例ゲイン K_p を調整する。

【0013】第二に回転制御時の調整方法を示す。最初に位置決め制御時の調整と同様に、速度比例ゲイン K_{vp} 、速度積分ゲイン K_{vi} 、及び位置比例ゲイン K_p の値を十分小さい値に設定しておく。図22に示すような制御系構成において、位置指令発生手段1は、サーボモータ10に回転位置指令 X を出力する。その時の回転速度 V と回転速度指令 V_r との値をオシロスコープで観測する。回転制御時、機械共振と位相余裕との減少による振動は、サーボモータ10が加速から定速度に切り替わった点以降、もしくは、減速から速度零になった点以降に現れる。また帰還ゲインの大きさは、加速時もしくは減速時の回転速度指令 V_r と回転速度 V との誤差量 E_v により推測できる。これらの現象に基づき、サーボモータ10を幾度か動かしながら、位置決め制御時と同様の方法で各制御ゲインを調整することができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】従来の装置は、速度比例ゲイン、速度積分ゲイン、位置比例ゲインの3つの制御ゲインの値を、オシロスコープ等の計測装置を別途用意した上で、サーボモータに回転指令を与えて、回転速度や回転位置等を観察する事により、サーボモータの回転状態を把握し、相互に関係する各制御ゲインの微妙なバランスが崩れないように繰り返し幾度も各制御ゲインを調整するという手間がかかり、しかもこの制御ゲイン調整作業は、熟練した調整技術者でなければ、困難であるという欠点を有していた。

【0015】また、制御パラメータの調整段階において、従来の方法は、各制御ゲインの値の変更の際に、数値入力手段13で各々のゲインの値を入力せねばならないというわずらわしさを含んでいる。更に、制御系が安定になる制御ゲインの適正な範囲が予めわかっていない場合には、この範囲から大幅にはずれた数値を各ゲイン調整手段に入力すると、サーボモータの回転状態が急変して過大な発振を起こし、サーボモータが破壊される場合がある。また、従来の方法は、各制御ゲインの値をわずかず増減して入力する作業を一回一回繰り返し、各制御ゲインの値を入力せねばならないわずらわしい調整

が繰り返されるという欠点を有していた。

【0016】サーボモータの各制御ゲイン調整が終了した後、サーボモータの負荷やサーボモータの回転する摩擦等の大きさが、経時的もしくは環境変化等に応じて極めて大きく変化したと仮定する。この場合、各制御ゲインを再調整する必要が生じる。従来の装置は、各ゲインの調整途中ないし各ゲインの調整終了時に、サーボモータへの制御信号の波形等や制御ゲイン等のデータを残すことができない。このため、前回調整したデータが残っており、再調整時に、前回調整したデータと再調整のデータとを比較することができない。従って、容易に各制御ゲインの調整を行えない。

【0017】また、従来の装置においても、オシロスコープ等の計測器のCRT画面の写真を撮るか、そのような記録機能の付いた計測器を用いれば、前回調整したデータを残すことは可能であるが、これらの計測器を用意するのに、かなりの時間が必要となる。更に、初期調整の際に用意したこれらの計測器は、再調整する度に必要となり、短時間に再調整を行えない。

【0018】また、サーボモータの負荷やサーボモータが回転するときの摩擦等の大きさが、経時的もしくは環境変化等に応じてわずかに変化した場合、従来の装置では、設備機械の稼働を停止させ、制御パラメータを再調整する必要が生じる。

【0019】また、従来の装置は、負荷の大きさが一時的に過大になって制御ループの安定性が低下したり、制御不可能になった場合には、自動的にその場でそのことを検出するとともに、制御ループが安定になるように制御パラメータを再調整することはできない。

【0020】また、制御ループの安定性が確保できている状態でも、サーボモータの負荷の機械的高次共振のために、ループゲインを十分に高く設定できない場合には、所期の応答性が得られない。この機械共振をいかに抑制するか、制御パラメータ調整の際に特殊な計測設備を用いずにいかに共振の大きさと周波数を検出するか、制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でいかにそれを実現するか、いかに効率よく共振を考慮した制御パラメータ調整を行うか、といったことも課題になる。

【0021】本発明はこのような従来の問題を解決するものであり、サーボモータと負荷とのイナーシャに応じた各制御ゲインの初期値を設定した上で、唯一つの調整パラメータに基づき、全ての制御パラメータの調整を行うことができる。しかも、熟練した調整技術者でなくとも極めて容易に制御パラメータの調整を行うことができるだけでなく、オシロスコープ等の計測装置がなくともサーボモータの制御状態を把握するのに必要なサーボモータの回転速度、又は、回転位置、又は、トルク信号等を観察しながら簡易に制御パラメータの調整ができる。その制御パラメータの調整結果をデータとして残すこと

により、後日再調整の際に参照することができる。また、各制御ゲインの値の変更をキーの押下で滑らかに行うことにより、制御ゲイン調整が粗雑になることを防ぐことができる。

【0022】また、制御パラメータ調整をキーの押下で開始して、自動的に最適状態にすることができる。

【0023】また、サーボモータに加速及び減速を指令し、それぞれのトルクと加速度に基づいて、サーボモータと負荷とのイナーシャを推定することにより、初期調整ならびに再調整を簡易に行うことができる。

【0024】また、サーボモータの負荷の機械的高次共振を抑制することにより、ループゲインを十分に高く設定することができる。制御パラメータ調整の際、特殊な計測設備を用いずに共振もしくはその大きさと周波数を検出し、制御パラメータ調整装置のハードウェア及びソフトウェアの限られた資源の中で制御パラメータ調整を実現し、サーボモータの負荷の機械的高次共振を考慮した制御パラメータ調整を行うことができる。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明のサーボモータの制御パラメータ調整装置は、サーボモータを制御するために用いられる複数の制御パラメータを調整する装置であって、該複数の制御パラメータのうち少なくとも1つの制御パラメータを修正する第1の修正手段と、該第1の修正手段によって修正された該少なくとも1つの制御パラメータの変化を計算する計算手段と、該計算された変化に基づいて、該複数の制御パラメータのうち該第1の修正手段によって修正された該少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータを修正する第2の修正手段とを備えることにより、そのことにより上記目的が達成される。

【0026】前記第1の修正手段は、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記少なくとも1つの制御パラメータを調整してもよい。

【0027】前記第2の修正手段は、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように、前記複数の制御パラメータのうち前記第1の修正手段によって修正された前記少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータを調整してもよい。

【0028】前記計算手段は、前記少なくとも1つの制御パラメータの修正前の値と、前記第1の修正手段によって修正された該少なくとも1つの制御パラメータとに基づいて、前記変化を計算してもよい。

【0029】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系を含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、該サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ、及び該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータのうち少なくとも1つを含んでもよい。

【 0 0 3 0 】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる位置サーボ系を含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータを含んでもよい。

【 0 0 3 1 】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系と、該サーボモータの位置を所定の位置に追従させる位置サーボ系とを含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、該サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータと、該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータと、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータとのうち少なくとも1つを含んでもよい。

【 0 0 3 2 】前記少なくとも1つの制御パラメータは、前記速度比例パラメータであり、前記複数の制御パラメータのうち前記第1の修正手段によって修正された前記少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータは、前記速度積分パラメータと、前記位置比例パラメータとであり、前記第2の修正手段は、該速度積分パラメータに該速度比例パラメータの変化の2乗を乗算するための手段と、該位置比例パラメータに該速度比例パラメータの該変化を乗算するための手段とを有してもよい。

【 0 0 3 3 】前記装置は、前記少なくとも1つの制御パラメータを所定の倍率で増減させるためのキー入力手段、及び所定の倍率を変化させる倍率変化手段を更に備えてもよい。

【 0 0 3 4 】前記装置は、前記サーボモータの目標とする回転指令を与える指令発生手段と、該サーボモータの回転情報を検出し、検出された該回転情報を示す回転情報信号を生成する検出手段と、該回転情報信号と該回転指令の偏差を計算する偏差計算手段と、該回転情報信号、該回転指令、該偏差のうち少なくとも1つを時系列的に表示する表示手段とを更に備えていてもよい。

【 0 0 3 5 】前記装置は、前記サーボモータの目標とする回転指令を与える指令発生手段と、該サーボモータの回転情報を検出し、検出された該回転情報を示す回転情報信号を生成する検出手段と、該回転情報信号と該回転指令の偏差を計算する偏差計算手段と、該回転情報信号、該回転指令、該偏差のうち少なくとも1つを記憶する記憶手段と、該記憶手段が出力する該回転情報信号、該回転指令、該偏差のうち少なくとも1つを時系列的に表示する表示手段とを更に備えていてもよい。

【 0 0 3 6 】前記記憶手段が生成する前記回転情報信号、前記回転指令、前記偏差のうち少なくとも1つを記憶する外部記憶手段を備えていてもよい。

【 0 0 3 7 】前記装置は、前記表示手段に表示される領域のうち少なくとも一部の領域を印写する印写手段を備えていてもよい。

【 0 0 3 8 】前記表示手段は、前記回転情報信号、前記回転指令、前記偏差のうち少なくとも1つを選択する選択手段と、該選択手段が選択された信号を生成する第1の信号を時系列に従い記憶する第1のメモリ手段と、所定の振幅レベル基準に基づき該第1のメモリ手段が生成する第2の信号を受け取る出力手段と、該出力手段が生成する第3の信号を時系列に従い記憶し、且つ第4の信号を生成する第2のメモリ手段と、該第3の信号を前記表示手段に表示する表示倍率を設定する表示倍率設定手段と、該所定の振幅レベル基準、該第4の信号の振幅方向の表示範囲、該第4の信号の時間軸方向の表示範囲、及び該表示倍率を記憶するデータ記憶手段とを更に備えていてもよい。

【 0 0 3 9 】前記装置は、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ調整手段と、前記速度サーボ系の前記定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータ調整手段と、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータ調整手段と、前記検出手段に検出された前記回転情報信号を微分することによって得られる微分信号を生成する微分手段とを更に備えていてもよい。

【 0 0 4 0 】前記装置は、前記位置比例信号と前記微分信号とに基づき、ゲインと周波数との関係を示すゲイン特性及び位相と該周波数との関係とを示す位相特性を計算する制御特性分析手段を更に備え、該制御特性分析手段は、前記検出手段と、前記微分手段と、前記位置比例パラメータ調整手段とに接続されていてもよい。

【 0 0 4 1 】前記装置は、特定の周波数に対応するゲインを抑制する共振抑制手段と、該特定の周波数を表す信号を該共振抑制手段に入力するサンプリング切替手段とを備えてもよい。

【 0 0 4 2 】前記共振抑制手段に入力される前記特定の周波数を表す信号は、前記キー入力手段より入力されてもよい。

【 0 0 4 3 】前記装置は、前記検出手段が発生する前記回転情報、及びサーボモータに入力される信号に基づき、前記特定の周波数を表す信号を生成する共振検出手段を更に備えてもよい。

【 0 0 4 4 】前記共振検出手段は、負荷を印加した前記サーボモータを、数式を用いてモデル化した数式モデル手段であって、該サーボモータに入力される前記信号に基づいて前記回転情報信号から共振信号を除いたモデル信号を生成する数式モデル手段と、該モデル信号と前記検出手段が生成する前記回転情報信号との誤差を計算する誤差検出手段と、該誤差検出手段によって計算された該誤差に基づいて、該誤差が最小となるように、前記特定の周波数を表す前記信号を生成するサンプル選択手段とを含んでもよい。

【 0 0 4 5 】前記装置は、前記検出手段が生成する回転情報信号に基づき、サーボモータの共振信号を生成する

共振分析手段と、該共振信号に基づき共振音を生成する共振音合成手段とを更に備えてもよい。

【0046】前記共振音合成手段は、前記共振分析手段によって生成される共振信号の周波数を可聴周波数に変換する周波数変換手段と、前記共振の振幅を増幅する増幅手段とを備えてもよい。

【0047】前記共振抑制手段は、デジタルフィルタを有し、前記ゲインが抑制される特定の割合及び該ゲインが抑制される特定の周波数に基づき該デジタルフィルタを改変し、前記サンプリング切替手段は、該デジタルフ

ィルタに前記特定の周波数を表す信号を供給してもよい。

【0048】前記装置は、キー入力手段からの信号に基づき該特定の割合を前記共振抑制手段に入力するフィルタ設定手段を備え、該共振抑制手段は、該特定の周波数に対応するゲインを抑制する割合を切替える手段を更に含んでもよい。

【0049】本発明のサーボモータの制御パラメータ調整方法は、サーボモータを制御するために用いられる複数の制御パラメータを調整する方法であって、該方法

は、該複数の制御パラメータのうち少なくとも1つの制御パラメータを修正する第1のステップと、該第1のステップによって修正された少なくとも1つの制御パラメータの変化を計算する第2のステップと、該計算された変化に基づいて、該複数の制御パラメータのうち該第1のステップによって修正された該少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータを修正する第3のステップとを包含することにより、そのことにより上記目的が達成される。

【0050】前記第1のステップは、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記少なくとも1つの制御パラメータを調整するステップであってもよい。

【0051】前記第3のステップは、前記サーボモータの制御系の位相余裕が所定の範囲内になるように前記複数の制御パラメータのうち前記第1のステップによって修正された前記少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータを調整するステップであってもよい。

【0052】前記第2のステップは、前記少なくとも1つの制御パラメータの修正前の値と、前記第1のステップによって修正された前記少なくとも1つの制御パラメータとに基づいて、前記変化を計算するステップであってもよい。

【0053】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系を含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータ、及び該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータのうち少なくとも1つを含んでもよい。

【0054】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる位置サーボ系を含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータを含んでもよい。

【0055】前記サーボモータの制御系は、該サーボモータの回転速度を所定の回転速度に追従させる速度サーボ系と、前記サーボモータの位置を所定の位置に追従させる位置サーボ系とを含み、前記少なくとも1つの制御パラメータは、前記サーボモータの応答速度を増加させるための速度比例パラメータと、該速度サーボ系の定常速度偏差を減少させるための速度積分パラメータと、該サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させるための位置比例パラメータとのうち少なくとも1つを含んでもよい。

【0056】前記少なくとも1つの制御パラメータは、前記速度比例パラメータであり、前記複数の制御パラメータのうち前記第1のステップによって修正された前記少なくとも1つの制御パラメータ以外の制御パラメータは、前記速度積分パラメータ及び前記位置比例パラメータとであり、前記第3のステップは、該速度積分パラメータに該速度比例パラメータの前記変化の2乗を乗算するためのステップと、該位置比例パラメータに該速度比例パラメータの該変化を乗算するためのステップとを包含してもよい。

【0057】前記サーボモータの加速及び減速を指令する回転指令信号及び該回転指令信号を該サーボモータが受け取ったときの該サーボモータのトルクに基づいて、負荷が印加された該サーボモータのイナーシャを推定するステップを更に包含してもよい。

【0058】前記第1のステップは、前記速度比例パラメータを変更し、前記速度比例パラメータを修正するステップを含み、前記第2のステップは、該速度比例パラメータの前記変化を計算するステップを含み、前記第3のステップは、前記速度積分パラメータに該速度比例パラメータの該変化の2乗を計算するためのステップ、及び該位置比例パラメータに該速度比例パラメータの該変化を乗算するためのステップを含み、前記方法は、イナーシャを推定する第4のステップ、該速度比例パラメータ、前記速度積分パラメータ及び該位置比例パラメータのそれぞれの初期パラメータを設定する第5ステップ、該速度比例パラメータを変更できる割合を第1の値以上に指定する第6のステップ、一定加速度により所定の回転速度まで前記サーボモータの回転速度を上昇し、一定加速度により該所定の回転速度からある回転速度まで下降する指令を該サーボモータに指令する第7のステップ、該速度比例パラメータを所定の割合で増減する第8のステップ、該第1のステップから該第3のステップを繰り返す第9のステップ、指令された回転速度と該サーボモータの回転速度の誤差量が第1の量以下で、且つ、

該サーボモータからの信号が、第 2 の量以下の発振ならば、第 1 1 のステップを実行し、そうでないならば、該第 7 のステップから該第 9 のステップを繰り返す第 1 0 のステップ、該誤差量が更に該第 1 の量よりも小さい第 3 の量であり、且つ、該サーボモータからの信号の発振が、更に該第 2 の量よりも微小な第 4 の量ならば、該速度比例パラメータを該変更できる割合を該第 1 の値未満に指定する第 1 1 ステップ、該第 7 のステップから該第 9 のステップ及び該第 1 1 のステップを繰り返し、該誤差量が更に該第 3 の量より小さく、且つ、該サーボモータからの信号が、更に第 4 の量よりも微小な発振ならば、第 1 1 のステップを実行する第 1 2 のステップ、前記複数の制御パラメータ、サーボモータが生成する信号、及びサーボモータに回転を指令する信号を表示する第 1 3 のステップ、該複数の制御パラメータ、サーボモータが生成する信号、及びサーボモータに回転を指令する信号を外部記憶装置に保持する第 1 4 のステップ、該表示手段の表示されている少なくとも一部の領域を印写手段に印写する第 1 5 のステップとを包含してもよい。

【0059】前記方法は、前記サーボモータが加速する場合、角加速度推定値及びトルク積分値を求める第 1 6 のステップ、該サーボモータが減速する場合、角加速度推定値とトルク積分値とを求める第 1 7 のステップ、該サーボモータからの回転位置を回転位置指令値及び速度信号を回転速度指令値と比較して、偏差とハンチングの振幅との少なくとも 1 つが所定の大きさよりも大きい場合には、該第 1 6 のステップ及び該第 1 7 のステップを繰り返し、該偏差と該ハンチングの振幅とが所定の大きさよりも小さい場合には、前記第 4 のステップを実行する第 1 8 のステップ、負荷が印加された該サーボモータの前記イナーシャ推定値、該角加速度推定値、及び該トルク積分値を前記外部記憶装置に記憶する第 1 9 のステップとを更に包含してもよい。

【0060】

【作用】サーボモータの制御系に含まれる位置比例ゲイン、速度比例ゲイン、速度積分ゲインといった複数の制御パラメータのうちのひとつ、例えば速度比例ゲインを変更しても、速度比例ゲインの変化に応じて速度積分ゲイン、位置比例ゲインの値を自動的に修正することにより、速度比例ゲインのみの調整で全ての制御パラメータの調整を行うことができる。

【0061】本発明によれば、ゲイン調整の初期段階で機械共振の起きない十分低い周波数領域にゲイン交点を設定した後、唯一速度比例ゲインの調整を行うだけで、全ての制御パラメータの調整を行うことができる。

【0062】従って、熟練した調整技術者でなくとも簡単に機械共振の発生することなく、帰還ゲインが十分に大きくなるように制御パラメータを調整することができる。

【0063】また、サーボモータの回転位置指令、回転

位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク信号の少なくともいずれかの時間的变化を表示する表示手段を設けることにより、サーボモータの制御状態を常に把握することができる。

【0064】従って、本発明によれば、オシロスコープ等の計測装置が無くとも、調整技術者は、サーボモータの制御状態を表示手段の画面で常に把握しながら、制御パラメータの調整を行うことができる。

【0065】また、制御ゲインを変更する場合は、キー入力手段を使用することにより、1 つの制御ゲインを増減する入力キーの押下で操作することができる。この操作により、制御ゲインを徐々に変更することができる。

【0066】従って、本発明によれば、サーボモータの制御されている状態を確認しながら徐々に制御ゲインを変更することが可能になり、制御ゲインの適正範囲を越えた数値を各ゲイン入力した場合に、制御状態が急変して過大な発振を起こすといった欠点を防ぐことができる。

【0067】さらに、キー入力手段の一回の押下での増減の割合を切り換える倍率変化手段により、制御ゲインを調整する精度を可変することができるので、ゲイン調整の初期段階に制御ゲインの増減の割合を大きくして大まかな調整を行い、次に制御ゲインの増減の割合を小さくし、精密な調整を行うという効率の良い調整を行うことができる。

【0068】従って、本発明によれば、各制御ゲインを少しずつ増減して入力するという作業を一回一回繰り返すことなく、精密な調整ができる。

【0069】また、サーボモータの回転位置指令、回転位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク信号の少なくともいずれかの制御信号を保持する記憶手段と、この出力信号を表示する表示手段ならびに出力信号を半永久的に記憶する外部記憶手段と、表示手段の表示を印写する印写手段を設けることにより、サーボモータの制御状態を常に把握することができ、またデータとして保存することができる。

【0070】従って、本発明によれば、オシロスコープ等の計測装置がなくとも、サーボモータの制御状態を調整技術者が表示手段の画面を見て常に把握しながら、制御パラメータの調整を行うことができるとともに、後日再調整の際にサーボモータの制御データを参照することができる。

【0071】また、キー入力手段の一回の押下で、制御特性分析手段に基づいて制御系のゲイン交点の周波数と位相の特性を計測して、位相余裕量が一定となるように複数の制御ゲイン間のバランスを保ちつつ制御ゲインを増分して、位相余裕量が予め定めた規定範囲内にあって、しかもゲイン交点周波数が最も大きい状態に自動的に設定することができる。

【 0 0 7 2 】 また、サーボモータの加速及び減速を指令する回転速度指令により、サーボモータのトルクを計測し、計測されたトルクと加速度に基づいて負荷のイナーシャを繰り返し推定する。これに基づいてサーボモータの制御系に含まれる複数の制御ゲインの修正をサーボモータの稼働中にリアルタイムで行うことができる。

【 0 0 7 3 】 従って、本発明によれば、サーボモータの負荷や摩擦等の大きさが経時的もしくは環境変化等に応じてわずかに変化した場合には、設備を稼働した状態で制御ゲインを再調整することができる。また、負荷の大きさが一時的に過大になってサーボモータの制御系の安定性が低下したり、制御不可能になった場合には、自動的にその場でそのことを検出するとともに、制御ループが安定になるように制御パラメータを再調整したり、設備機械を非常停止するなどの措置をとることができる。

【 0 0 7 4 】 また、共振抑制手段を設けることにより、サーボモータの負荷の機械的高次共振を抑制して制御ゲインを十分に高く設定することができる。さらに、共振抑制手段をデジタルフィルタで構成した場合に、そのデジタルフィルタのサンプリング周波数をパラメータとして、機械共振の状況に応じて切り替えることによって簡易に共振抑制効果を得ることができる。

【 0 0 7 5 】 さらに、制御パラメータ調整時に、制御ループのゲイン交点周波数の大きさを基準にしてデジタルフィルタのサンプリング周波数を自動的に設定することができる。

【 0 0 7 6 】 さらに、共振検出手段を設けることにより、機械共振を検出した場合に自動的にデジタルフィルタのサンプリング周波数を設定することができる。

【 0 0 7 7 】 さらに、共振分析手段を設けることにより、機械共振の大きさと周波数を検出し、これに基づいてデジタルフィルタのサンプリング周波数を自動的に設定することができる。

【 0 0 7 8 】 さらに、共振音合成手段でサーボ系の共振を可聴共振に変換することによって、ゲイン調整時の共振の微妙な変化をとらえてより最適に制御ゲインを設定することができる。

【 0 0 7 9 】 従って、本発明によれば、制御ループの安定性が確保できている状態でも、サーボモータの負荷の機械的高次共振のために、制御ゲインを十分に高く設定できないという欠点を防ぐことができる。すなわち、機械共振を抑制するだけでなく、制御ゲイン調整の際に特殊な計測設備を用いずに共振を検出もしくはその大きさと周波数を検出することを可能にし、しかも制御調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でそれを実現し、共振を考慮した制御ゲイン調整を効率よく行うことができる。

【 0 0 8 0 】

【 実施例 】 図 1 は、本発明による第 1 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。この制御パラメータ調

整装置は、サーボモータ 1 0 の目標となる回転情報を示す指令を生成する指令発生手段 1、負荷 1 1 が加えられたサーボモータ 1 0 の現実の回転情報を検出するロータリーエンコーダ 1 2、サーボモータ 1 0 が指令発生手段 1 によって生成された目標となる回転情報を示す指令に追従して回転するように、指令発生手段 1 によって生成された目標となる回転情報を示す指令とロータリーエンコーダ 1 2 によって検出された現実の回転情報とに応じて、サーボモータを制御する制御手段 2 9、目標となる回転情報、現実の回転情報、及び目標となる回転情報と現実の回転情報との間の偏差を記憶する記憶手段 1 8、記憶手段 1 8 に記憶された目標となる回転情報、現実の回転情報、及び目標となる回転情報と現実の回転情報との間の偏差を表示する表示手段 1 5、ゲインを所定の倍率で増減するための倍率を入力するキー入力手段 1 4 を備えている。

【 0 0 8 1 】 サーボモータを制御するための制御手段 2 9 は、位置比例ゲイン、速度比例ゲイン、及び速度積分ゲインのそれぞれを位置比例ゲイン調整手段 3、速度比例ゲイン調整手段 4、及び速度積分ゲイン調整手段 5 に設定するゲイン設定手段 2、サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる位置比例ゲイン調整手段 3、サーボモータの応答速度を増す速度比例ゲイン調整手段 4、サーボモータの定常速度偏差を減少させる速度積分ゲイン調整手段 5、積分器 6、及び微分器 7 を含んでいる。

【 0 0 8 2 】 また、サーボモータの制御系は、制御パラメータ調整装置、D/Aコンバータ 8、駆動手段 9 及び負荷 1 1 が加えられたサーボモータ 1 0 を含む。

【 0 0 8 3 】 サーボモータの制御系は、サーボモータの速度を目的速度に追従させるための速度サーボ系、及びサーボモータの回転位置を目的回転位置に追従させるための位置サーボ系を含む。

【 0 0 8 4 】 この速度サーボ系は、速度比例ゲイン調整手段 4、速度積分ゲイン調整手段 5、積分器 6、D/Aコンバータ 8、駆動手段 9、負荷 1 1 が加えられたサーボモータ 1 0、ロータリーエンコーダ 1 2、及び微分器 7 を含む。

【 0 0 8 5 】 速度比例ゲイン調整手段 4 には、ゲイン設定手段が生成する速度比例ゲインが入力される。この速度比例ゲイン $K_v p$ を調節することにより、サーボモータの応答速度を増すことができる。また、速度積分ゲイン調整手段 5 には、ゲイン設定手段が生成する速度積分ゲイン $K_v i$ が入力される。この速度積分ゲイン $K_v i$ を調節することにより、サーボモータの定常速度偏差を減少させる。

【 0 0 8 6 】 位置サーボ系は、位置比例ゲイン調整手段 3、速度比例ゲイン調整手段 4、速度積分ゲイン調整手段 5、積分器 6、D/Aコンバータ 8、駆動手段 9、負荷 1 1 が加えられたサーボモータ 1 0、及びロータリーエン

コード 12 を有している。

【0087】位置比例ゲイン調整手段 3 には、ゲイン設定手段が生成する位置比例ゲイン K_p が入力される。この位置比例ゲイン K_p を調節することにより、サーボモータの回転位置を所定の回転位置に追従させる。

【0088】次に、制御パラメータ調整装置の動作を説明する。サーボモータ 10 は、負荷 11 が加えられた状態で回転する。ロータリーエンコーダ 12 は、負荷 11 が加えられたサーボモータ 10 の回転情報を検出する。ここで、回転情報とは、サーボモータがどのような状態で回転しているかを示す情報をいう。例えば、回転情報は、回転位置、回転速度、回転加速度、及びトルクのうち少なくとも 1 つを含む。回転情報のうち、回転位置、回転速度、及び回転加速度は、それらと等価な回転角、回転角速度、及び回転角加速度によって置き換えられてもよい。ロータリーエンコーダ 12 によって検出された回転情報は、位置比例ゲイン調整手段 3、微分器 7、及び記憶手段 18 に供給される。

【0089】指令発生手段 1 は、サーボモータ 10 の目標となる回転情報を指示するための指令を生成する。その指令は、例えば、サーボモータ 10 の目標となる回転位置を示す回転位置指令、サーボモータ 10 の目標となる回転速度を示す回転速度指令、及びサーボモータ 10 の目標となるトルクを示すトルク指令のうち少なくとも 1 つを含む。指令発生手段 1 によって生成された指令は、位置比例ゲイン調整手段 3 及び記憶手段 18 に供給される。

【0090】制御手段 29 は、サーボモータ 10 が指令発生手段 1 によって生成された目標となる回転情報を示す指令に追従して回転するように、指令発生手段 1 によって生成された目標となる回転情報を示す指令とロータリーエンコーダ 12 によって検出された現実の回転情報とに応じて、サーボモータを制御する。例えば、制御パラメータ調整装置は、負荷 11 が加えられているサーボモータ 10 を PID 制御により制御する。

【0091】制御手段 29 のゲイン設定手段 2 の動作の詳細は、後述される。記憶手段 18 は、指令発生手段 1 によって生成される目標となる回転情報を示す指令、ロータリーエンコーダ 12 によって検出される現実の回転情報、及び目標となる回転情報と現実の回転情報との間の偏差を記憶する。目標となる回転情報を示す指令、現実の回転情報、及び目標となる回転情報と現実の回転情報との間の偏差は、時間の経過につれて変化する。記憶手段 18 は、それらの情報の時間的な変化を時系列に記憶する。記憶手段 18 は、サーボモータ 10 の回転が開始した直後からそれらの情報を記憶してもよく、サーボモータ 10 が回転している間の任意の期間においてのみそれらの情報を記憶してもよい。例えば、記憶手段 18 は、目標となる回転位置を示す回転位置指令、現実の回転位置、及び目標となる回転位置と現実の

回転位置との間の差を示す回転位置偏差を記憶する。あるいは、記憶手段 18 は、目標となる回転速度を示す回転速度指令、現実の回転速度、及び目標となる回転速度と現実の回転速度との間の差を示す回転速度偏差を記憶してもよいし、目標となるトルクを示すトルク指令、現実のトルク、及び目標となるトルクと現実のトルクとの間の差を示すトルク偏差を記憶してもよい。さらに、記憶手段 18 は、これらの情報を組み合わせた回転情報を記憶してもよい。

【0092】表示手段 15 は、記憶手段 18 に記憶される目標となる回転情報を示す指令、現実の回転情報、及び目標となる回転情報を示す指令と現実の回転情報との間の偏差のうち、少なくとも 1 つを時系列に表示する。表示手段 15 による表示の態様の具体例は、後述される。

【0093】キー入力手段 14 は、入力されるキーに応じて、所定の倍率で目的の制御ゲインを増減するための指示を生成する。例えば、キー入力手段 14 は、入力されるキーが第 1 のキーの場合に、所定の倍率で目的の制御ゲインを増加させる指示を生成し、入力されるキーが第 2 のキーの場合に、所定の倍率で目的の制御ゲインを減少させる指示を生成する。生成された指示は、ゲイン設定手段 2 に供給される。

【0094】次に、点線により図示された制御手段 29 は、本発明を容易に実施するにはマイコン（不図示）によりインプリメントされることが望ましい。しかし、各手段の一手段もしくは全部をそのマイコンと等価な動作を実行する電子回路に置き換えることも可能である。

【0095】また、第 1 の実施例のパラメータ調整装置は、外部記憶手段 19、又は印写手段 20 を更に備えていてもよい。

【0096】外部記憶手段 19 は、サーボモータ 10 の回転位置指令、回転位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク、速度比例ゲイン $K_v p$ 、速度積分ゲイン $K_v i$ 、及び位置比例ゲイン K_p 等を時系列信号として記憶する。印写手段 20 は、表示手段 15 の表示画面を印刷、又は転写する印写手段 20 である。

【0097】図 2 は、本発明によるサーボモータの制御パラメータ調整装置の具体的な構成例を示している。

【0098】図 1 の制御手段 29 は、コンピュータ本体（不図示）で構成され、キー入力手段 14、及び倍率変化手段 16 は、アップキー 54、ダウンキー 55、及び倍率キー 51 を含むキーボード 17 により構成されている。また、表示手段 15 はディスプレイ 50 により構成されている。

【0099】第 1 の実施例では、ディスプレイ 50 の上半分に回転速度指令 V_r と回転速度 V の時間変化とがグラフとして表示される。このグラフの縦軸は、速度を示し、横軸は、時間を示している。ディスプレイ 50 の下

半分には、速度比例ゲイン Kvp 、速度積分ゲイン Kvi 、及び位置比例ゲイン Kp の現在の値が表示される。キーボード 17 上にはキー入力手段 14、即ちアップキー 54 とダウンキー 55 が設けられており、それぞれを押下することで各制御ゲインを増やすか、もしくは減らすことができる。また、キーボード上に倍率キー 54 が設けられており、これを押下することで上記アップキー 54、もしくはダウンキー 55 を押下したときの各制御ゲインの増減の倍率を変化させる。この実施例では、ディスプレイ 50 の上半分にグラフを表示させ、ディスプレイ 50 の下半分に各制御ゲインを表示させているが、グラフと各制御ゲインとの表示位置は、自由に選択できる。

【0100】なお、図 1 中で点線により図示された制御手段 29、表示手段 15、キー入力手段 14 及び倍率変化手段 16 は、ノートパソコンを用いても実現できる。また、外部記憶手段 19 はパソコンのフロッピーディスク装置 52 を、印写手段 20 はプリンタ装置 53 を用いても実現できる。

【0101】以下に、第 1 の実施例による制御パラメータの調整方法を説明する。この調整方法は、1 つの制御ゲインの変化に基づいて、ゲイン交点において位相余裕量が変動しないようにゲイン調整を行う方法である。このゲイン調整を行う方法の原理について以下に述べる。

【0102】速度ループ（速度サーボ系）の開ループ伝達関数 Gv を表す式は（数 1）である。

【0103】

【数 1】

$$Gv = \frac{Kvp + Kvi / s}{(JM + JL) \cdot s}$$

【0104】ただし、 JM はサーボモータ回転子のイナーシャ、 JL は負荷イナーシャである。ここで $s = j\omega$ （ただし、 j は虚数単位を表わす）とおくと、（数 1）は（数 2）のような形に書き換えることができる。

【0105】

【数 2】

$$Gv = \frac{j \cdot Kvp \cdot \omega + Kvi}{-(JM + JL) \cdot \omega^2}$$

【0106】ここで、速度比例ゲイン Kvp 及び速度積分ゲイン Kvi の適正值を考える。速度比例ゲイン Kvp 及び速度積分ゲイン Kvi の適正值は、前述の様にゲイン交点での位相余裕が十分にあって、且つ制御系が不安定にならない範囲内において帰還ゲインを十分に大きく設定することが可能な値である。速度比例ゲイン Kvp を変更した場合でも、ゲイン交点での位相余裕が変わらなければ、適正值が保たれている。ここで位相余裕を示す値である位相角 θ を求め、速度比例ゲイン Kvp を変更しても位相角 θ の値が変わらない条件を求める。

【0107】（数 2）より、 Gv の位相角 θ は（数 3）の様に記述される。

【0108】

【数 3】

$$\tan \theta = \frac{Kvp \cdot \omega}{Kvi}$$

$$= \frac{2\pi \cdot f0 \cdot Kvp}{Kvi}$$

【0109】ここで、 π は円周率、 $f0$ はゲイン交点の周波数である。次に速度比例ゲイン Kvp を Q 倍した場合を考える。ゲイン交点の周波数付近では速度積分の影響は無視できると仮定すると、（数 2）は（数 4）のように書き換えることができる。

【0110】

【数 4】

$$Gv = \frac{j \cdot Kvp}{-(JM + JL) \cdot 2\pi \cdot f0}$$

【0111】ゲイン交点での Gv の大きさは 1 であるから、（数 4）は（数 5）のように書き換えることができる。

【0112】

【数 5】

$$Kvp = (JM + JL) \cdot 2\pi \cdot f0$$

【0113】これより明らかに、速度比例ゲイン Kvp を Q 倍した時に、ゲイン交点での Gv が 1 になる為には、ゲイン交点周波数 $f0$ も Q 倍にしなければならない。このときの速度サーボ系における開ループのボード線図は、図 23 中に示される点線にて示している。そこで $Kvp' = Q \cdot Kvp$ 、 $f0' = Q \cdot f0$ を（数 3）に代入して、速度比例ゲイン Kvp を Q 倍した場合の Gv の位相角 θ' を求めると（数 6）を得る。

【0114】

【数 6】

$$\tan \theta' = \frac{2\pi \cdot f0 \cdot Q \cdot Kvp}{Kvi'}$$

【0115】この時に位相角、すなわちゲイン交点での位相余裕が変わらない条件は、 $\tan \theta = \tan \theta'$ である。ゆえに（数 3）、（数 6）より（数 7）が導かれる。

【0116】

【数 7】

$$Kvi' = Q^2 \cdot Kvi$$

【0117】ゆえに速度比例ゲイン Kvp を変更した場合でも、速度積分ゲイン Kvi の値を適正值に保つ条件

は、速度比例ゲイン K_{vp} の変化を 2 乗した値を速度積分ゲイン K_{vi} に乗算することにより満たされる。

【0118】同様に速度比例ゲイン K_{vp} を変更した場合、位置比例ゲイン K_p の適正値を保つ条件を求める。簡略化の為に速度積分ゲイン K_{vi} を零として図 21 の位置ループ（位置サーボ系）を一巡ループに置き換えると図 4 の様な形になる。ここで位置サーボ系の開ループ伝達関数 G_x は（数 8）の様に記述される。

【0119】

【数 8】

$$G_x = \frac{K_p \cdot K_{vp} + K_{vp} \cdot S}{(J_M + J_L) \cdot S^2}$$

$$= \frac{K_p \cdot K_{vp} + j \cdot K_{vp} \cdot \omega}{-(J_M + J_L) \cdot \omega^2}$$

【0120】ここで位相角 θ を求めると（数 9）のようになる。

【0121】

【数 9】

$$\tan \theta = \frac{2\pi \cdot f_0}{K_p}$$

【0122】ゲイン交点周波数が Q 倍になった時、 G_x の位相角 θ' を求めると（数 10）のようになる。

【0123】

【数 10】

$$\tan \theta' = \frac{2\pi \cdot Q \cdot f_0}{K_p'}$$

【0124】この時に位相角、すなわちゲイン交点での位相余裕が変わらない条件は、 $\tan \theta = \tan \theta'$ なので（数 9）、（数 10）より（数 11）が導かれる。

【0125】

【数 11】

$$K_p' = Q \cdot K_p$$

【0126】ゆえに速度比例ゲイン K_{vp} を変更した場合でも、位置比例ゲイン K_p の値を適正値を保つ条件は、速度比例ゲイン K_{vp} の変化を位置比例ゲイン K_p に乗算することにより満たされる。

【0127】次に、図 1 に示すサーボモータの制御パラメータ調整装置の動作を、図 3 を参照しながら説明する。

【0128】図 3 は本発明の第 1 の実施例のサーボモータの制御パラメータ調整方法を示すフローチャートである。まず、予めサーボモータ及び負荷のイナーシャ値を求めておく。なお、物理法則や、サーボモータ入力電圧及びロータリーエンコーダ 12 が発生する回転情報から近似計算等の方法でイナーシャ値を求めてもよい。この

サーボモータ及び負荷のイナーシャ値に基づいて、制御ゲインに初期を設定する（ステップ 1）。

【0129】次に、速度比例ゲイン K_{vp} の変更に従って、速度積分ゲイン K_{vi} 、位置比例ゲイン K_p の値を修正するモードに自動的に切り換えられる（ステップ 2）。

【0130】キー入力手段 14 を 1 回押したときに入力される速度比例ゲイン K_{vp} の変更値又は更新値の増減する割合は、倍率変化手段 16 によって、変化させられる。ゲイン調整の最初は、調整時間を短縮する為に、速度比例ゲイン K_{vp} 変更値の変化割合を大きくし、大まかなゲイン調整を行う。（ステップ 3）。

【0131】指令発生手段 1 は、一定の回転加速度により、所定の速度まで回転速度を上昇させ、一定期間所定の速度を維持し、一定の回転加速度により、所定の速度からある速度まで回転速度を降下させる回転指令を発生する。なお、回転指令は、回転位置指令 X_r 、回転速度指令 V_r 、又は、回転加速度指令であってもよい。また、上記所定の速度を維持する一定期間は、0 であってもよい（ステップ 4）。

【0132】表示手段 15 が、図 2 に示されるように、現在の指令発生手段 1 からの回転速度指令 V_r 、及びロータリーエンコーダ 12 からの回転速度信号 V を表示する（ステップ 5）。

【0133】回転速度指令 V_r と回転速度 V との誤差量が大きければ、速度比例ゲイン K_{vp} を上げる。回転速度 V が発振ぎみであれば、速度比例ゲイン K_{vp} を下げる。これらの速度比例ゲイン K_{vp} 変更値は、キー入力手段 14 に取り付けられているアップキー 54、またはダウンキー 55 を押して入力される（ステップ 6）。

【0134】入力された速度比例ゲイン K_{vp} 変更値は、ゲイン設定手段 2 に送られる（ステップ 7）。

【0135】ゲイン設定手段 2 は、現時点までの速度比例ゲイン K_{vp} を記憶している。速度比例ゲイン K_{vp} と変更された速度比例ゲイン K_{vp} との割合を計算し、変化 Q とする（ステップ 8）。

【0136】求められた速度比例ゲイン K_{vp} の変化 Q を、先に説明したパラメータ調整方法の原理に基づいて、現時点の位置比例ゲイン K_p に乗算する（ステップ 9）。

【0137】また、この変化 Q を 2 乗した値を現時点での速度積分ゲイン K_{vi} に乗算する（ステップ 10）。

【0138】ゲイン設定手段 2 は、速度比例ゲイン K_{vp} の変更値を速度比例ゲイン調整手段 4 に、乗算後の速度積分ゲイン K_{vi} を速度積分ゲイン調整手段 5 に、乗算後の位置比例ゲイン K_p を位置比例ゲイン調整手段 3 に転送する。各調整手段は、転送された制御ゲインをゲイン設定手段 2 から受け取って各調整手段に入力される入力制御信号に乗算する（ステップ 11）。

【0139】次にステップ 4、5 を再度実行し、サーボ

モータの制御状態を調べる（ステップ12）。ここで回転速度指令 V_r と回転速度 V の誤差量が、ゲイン調整をした当初の誤差量と比較して大きい場合、ステップ6からステップ12までの動作を繰り返す。また、回転速度 V が発振していれば、ステップ6からステップ12までの動作を繰り返す（ステップ13）。

【0140】誤差量がゲイン調整をした当初の誤差量と比較して小さく、且つ回転速度 V の発振が微小ならば、適正制御状態に近くなっているため、速度比例ゲイン K_v の変更の割合を小さくする（ステップ14）。

【0141】次に、ステップ4からステップ13までの動作を繰り返し、より精密な調整を行い、誤差量が十分に小さく、且つ回転速度 V の発振がないならば、ステップ16へ進む（ステップ15）。

【0142】ゲイン調整結果、記憶手段18が各制御ゲインならびに各制御信号のデータを外部記憶装置19に出力する（ステップ16）。

【0143】また、表示手段15の表示を印写手段20に出力して（ステップ17）、制御ゲインの調整を終了する。

【0144】なお、制御パラメータ調整技術者は、その表示された波形を観測し、サーボモータ10の制御状態を把握してもよい。

【0145】図5（a）は、記憶手段18の構成を詳細に示す。同図において、記憶手段18は、キー入力手段14から選択信号に基づいて、制御信号である回転位置指令 X_r 、回転位置 X 、回転位置誤差 E_x 、回転速度指令 V_r 、回転速度信号 V 、及び速度誤差 E_v から指定された一つを取り出すための選択手段31と、この出力信号を保持する第1のメモリ手段32と、第1のメモリ手段32からの出力信号を特定の振幅レベル基準に基づいて、信号を発生する出力手段33とを含む。

【0146】図5（b）は、第1のメモリ手段32と出力手段33の構成図である。同図において、第1のメモリ手段32は、 n 個の単位メモリ R_i （ $i=1, 2, \dots, n-1, n$ ）で構成され、 R_i に入力された信号は、単位メモリ R_i に一時的に保持され、タイミング信号（不図示）によって R_{i+1} へ順次送られる。出力手段33は、第1のメモリ手段32に入力される信号の振幅レベルが、特定の振幅レベル基準以上もしくはそれ以下になったときに、最初に第1のメモリ手段32に入力された信号が保持されている単位メモリ R_i に対応する出力スイッチ S_i を閉じる。その後、その出力スイッチ S_i を閉じた状態で、タイミング信号に応じて、 R_{i-1} に保持されていた信号が R_i にシフトする。この動作を繰り返し、出力手段33は、その単位メモリに入力される信号を表示手段に出力する。入力された信号が全て出力されたなら最後に出力スイッチ S_i を再び開いた状態にする。

【0147】また、出力スイッチ S_n を開閉し、次に

カスイッチ S_{n-1} を開閉し、この操作を出力スイッチ S_1 まで繰り返す。このような方法でも、単位メモリ R_i に保持されている信号を表示手段に出力することができる。出力手段33に開閉する出力スイッチの情報をキー入力手段14から与えると、任意の単位メモリ R_i に保持されている信号を取り出せることはいうまでもない。

【0148】なお、上記タイミング信号の間隔を可変することによって、表示手段15に表示する信号の時間軸の粗さと範囲を指定することができる。

【0149】図5（c）は、出力手段33から出力される信号の波形図である。同図において、横軸は時間を、縦軸はサーボモータの回転数をそれぞれ表す。この場合、振幅レベルが100rpmを越えたときに、トリガが掛かるように設定される。実際には、それよりも1msecさかのぼった時点から波形を観測される。

【0150】トリガを掛けるポイントは、全体の時間軸スケールの前から1/4、後ろから1/8等のところに設定することも自由にできる。また、信号が時間の増加に従い減少するポイントでトリガを掛けることも自由にできる。

【0151】図6（a）は、表示手段15の構成を示す。図6（a）において、記憶手段18の出力は一旦第2のメモリ手段41に保持される。そして、予め決められた時間軸及び縦軸の表示倍率の変換を表示倍率可変手段42で行い、その出力を第3のメモリ手段43に出力する。表示器44は、第3のメモリ手段43からの出力信号と表示枠などのデータとをあわせて画面上に表示する。印写手段20は、表示器44に表示された表示枠と出力信号を紙上に印写する。また、表示器44の一部を拡大した画面、または、縮小した画面を紙上に印写してもよい。

【0152】外部記憶手段19は、第2のメモリ手段41に記憶された信号と、そのときの調整されたゲインとを併せて記憶する。前記特定の振幅レベル基準、振幅方向の表示範囲、時間軸方向の表示範囲、前記表示倍率、及び上記タイミング信号の間隔等のデータは、外部記憶手段19、もしくは表示器44に含まれる半導体メモリ（不図示）に記憶される。また、外部記憶手段19に記憶された信号は、外部記憶手段19から第2のメモリ手段41に転送されて、記憶手段から入力された信号と同様の処理が施されて表示器44に表示される。

【0153】図6（b）は、表示倍率を可変した波形図である。同図において、時間軸、縦軸ともに図5（c）を2倍した場合を表している。このように図6（a）に示したような表示倍率可変手段42の構成を用いることによって、表示倍率を可変した波形を表示器44に表示することができる。

【0154】上記実施例では、速度比例ゲイン K_v の変化を求めて速度積分ゲイン $K_v i$ 、位置比例ゲイン K

p の修正を行ってきた。しかし、速度積分ゲイン K_{vi} 、又は位置比例ゲイン K_p の変化を求め、その変化に基づいて他の 2 つの制御ゲインの修正を行っても、上記実施例を実施することは可能である。例えば、位置比例ゲイン K_p の変化を求めて、その変化の 2 乗に基づき、速度積分ゲイン K_{vi} を修正し、同様にその変化に基づき、速度比例ゲイン K_{vp} を修正させてもよい。

【0155】上記実施例では、制御ゲインの初期値設定は、サーボモータのイナーシャ J_M 及び負荷 J_L のイナーシャ J_L に基づいて設定を行った。しかし、制御ゲインの初期値設定は熟練的手法や経験則に頼って設定してもよい。

【0156】上記実施例では、表示手段 15 により回転速度指令 V_r と回転速度信号 V を表示手段 15 に表示させながら、制御パラメータ調整が行われたが、回転速度偏差 E_v 、回転位置指令 X_r 、回転位置信号 X 、回転位置偏差 E_x 、トルク指令、又はトルク信号を表示手段 15 に表示させながら、制御パラメータ調整を行ってもよい。

【0157】このように上記実施例によれば、サーボモータの制御系に含まれる位置比例ゲイン K_p 、速度比例ゲイン K_{vp} 、及び速度積分ゲイン K_{vi} といった複数の制御パラメータのうちのひとつ、例えば速度比例ゲイン K_{vp} を変更しても、その変化に応じて速度積分ゲイン K_{vi} 、位置比例ゲイン K_p を修正することが可能である。

【0158】ゲイン調整の初期段階において、サーボモータの共振の起きない十分低い周波数領域にゲイン交点を設定した後、唯一速度比例ゲイン K_{vp} の調整のみで、残りの制御パラメータの調整を行なわせる。熟練した調整技術者でなくとも、簡単にサーボモータの共振の発生することのない範囲で帰還ゲインが十分に大きくなるように制御パラメータを調整することが可能である。

【0159】また、サーボモータの回転位置指令、回転位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク信号、及びトルク偏差の少なくともいずれかの時間的変化を表示する表示手段 15 を設けることにより、サーボモータの制御状態を常に把握することができる。従って、オシロスコープ等の計測装置がなくとも、サーボモータの制御状態を調整技術者が表示手段 15 の画面を見て常に把握しながら、制御パラメータの調整を行うことができる。

【0160】また、制御ゲインを変更する場合は、キー入力手段を使用して 1 つの制御パラメータを増やすか減らすかを入力キーの押下で操作することにより、制御ゲインを徐々に変更することができる。従って、サーボモータの制御状態を確認しながら徐々に制御ゲインを変更することが可能になり、制御ゲインの適正範囲を越えた数値を入力することにより制御状態が急変して過大な共振を起こすといった欠点を防ぐことができる。

【0161】さらに、キー入力手段の一回の押下での増減の割合を切り換える倍率変化手段 16 により、制御パラメータ調整精度を可変することができる。ゲイン調整の初期段階に制御ゲインの増減する割合を大きくして大まかな調整を行い、次に制御ゲインの増減する割合を小さくし精密な調整を行うという効率の良い調整を行うことができる。従って、各制御ゲインの値をわずかず増減して入力するという作業を容易に行うことができ、一回一回制御ゲインを入力し、微妙な調整がしづらいという欠点を防ぐことができる。

【0162】なお、キー入力手段は、自動でゲイン調整を行う自動調整モード切り換えスイッチを含んでいてもよい。

【0163】また、この実施例は、サーボモータの回転位置指令、回転位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク信号、及びトルク偏差の少なくともいずれかの制御信号を保持する記憶手段 18 と、この出力信号を表示する表示手段 15 ならびに出力信号を半永久的に記憶する外部記憶手段 19 と、表示手段 15 の表示を印写する印写手段 20 とを備えていてもよい。これらの手段を備えることにより、サーボモータの制御状態を常に把握することができ、また、これらの制御信号をデータとして保存することも可能である。

【0164】従って、調整技術者が表示手段 15 の画面を見ることにより、サーボモータの回転位置指令、回転位置、回転位置偏差、回転速度指令、回転速度、回転速度偏差、トルク指令、トルク信号、及びトルク偏差を把握しながら、制御パラメータの調整を行うことができる。また、外部記憶手段 19 を備えていることにより、後日、前回ゲイン調整したゲイン及び各制御パラメータを参照することができる。

【0165】図 7 は、第 2 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。第 2 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成は、第 1 の実施例の制御パラメータ調整装置における記憶装置 18 を制御特性分析手段 71 に置き換えることにより得られる。

【0166】第 1 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し、基本的には説明を省略する。

【0167】制御特性分析手段 71 には、ロータリーエンコーダ 12 からの回転位置 X 、及び回転位置 X を微分器 7 で微分した回転速度 V が入力される。また、指令発生手段 1 が発生する回転位置指令 X_r と回転位置 X の差である回転位置誤差 E_x も、制御特性分析手段 71 に入力される。

【0168】回転位置誤差 E_x を位置比例ゲイン調整手段 3 に入力し得られた信号 V_r と回転速度 V の差である速度誤差 E_v も制御特性分析手段 71 に入力される。

【0169】指令発生手段 1 からは位置サーボ系もしくは

は速度サーボ系のゲイン交点周波数近傍の周波数、且つ、正弦波状の回転指令をサーボモータに入力する。

【0170】図8は、制御特性分析手段71の構成を詳細に示す。制御特性分析手段71は、離散時間フーリエ変換演算手段72、外挿演算器73、メモリ74、及び切替手段75を備えている。離散時間フーリエ変換演算手段72は、位置サーボ系の開ループ特性、即ち回転位置誤差 E_x が得られる地点から回転位置 X が得られる地点までのゲインと周波数の関係、位相と周波数の関係、もしくは、速度サーボ系の開ループ特性、即ち速度誤差 E_v が得られる地点から速度 V が得られる地点までのゲインと周波数の関係、位相と周波数の関係を分析してその結果を外挿演算器73に出力する。この外挿演算器73は、数点の周波数、数点の周波数に対応する数点のゲイン、及び数点の周波数に対応する数点の位相のデータに基づき、ゲインが0 dBとなるゲイン交点の周波数とその周波数における位相を求める。メモリ74は、外挿演算器73で得られたゲイン、位相、及び周波数のデータを記憶する。切替手段75は、離散時間フーリエ変換演算手段72に入力される回転位置に関するパラメータ（回転位置誤差 E_x 及び回転位置 X ）、及び速度に関するパラメータ（速度誤差 E_v 及び速度 V ）を切り換える手段である。

【0171】図9は、第2の実施例の制御パラメータ調整装置の動作を示すフローチャートである。以下、その動作を各ステップごとに詳細に説明する。

【0172】まず、負荷11が加えられたサーボモータ10が発振しないような十分に低いゲイン交点の周波数でサーボモータが動作するように、各調整手段に初期の制御ゲインが設定される（ステップ1）。

【0173】次に、キー入力手段14を操作し、速度比例ゲイン $K_v p$ 、速度積分ゲイン $K_v i$ 、及び位置比例ゲイン K_p を自動的に修正する自動調整モードに切り換える（ステップ2）。

【0174】目標とするサーボモータの応答速度もしくはゲイン交点周波数が設定される（ステップ3）。

【0175】キー入力手段14が生成する所定の出力信号により、制御パラメータ調整装置が各制御ゲインの自動調整を開始する（ステップ4）。

【0176】このとき、最初は、十分に低いゲイン交点周波数から制御ゲインが増加するように制御ゲインが設定される。次に、指令発生手段1は、目標とするゲイン交点周波数前後の周波数、且つ正弦波状の回転指令を指令発生手段1から位置サーボ系の加算減算点27に入力する（ステップ5）。

【0177】位置サーボ系の制御ゲインを調整する場合は、回転位置誤差 E_x 及び回転位置 X に基づき、 N_u 個のゲイン、 N_u 個の位相、及び N_u 個の周波数を制御特性分析手段71に含まれる離散時間フーリエ変換演算手段72を用いて求める。外挿演算器73は、求められた

N_u 個のゲイン、 N_u 個の位相、及び N_u 個の周波数に基づき、ゲイン交点周波数を求める。

【0178】また、速度サーボ系のゲインを調整する場合は、同様に速度誤差 E_v 及び速度 V に基づき、 N_u 個のゲイン、 N_u 個の位相、及び N_u 個の周波数が求められる（ステップ6）。

【0179】ステップ6によって求められたゲイン交点周波数の前後にある周波数を N_u 個選択した後、選択された N_u 個の周波数に対応する N_u 個のゲイン及び N_u 個の位相をステップ5及びステップ6を繰り返して求め、ゲイン交点の周波数とその周波数における位相を外挿演算器73を用いて求める（ステップ7）。

【0180】ステップ5からステップ7を実行する間、ゲイン特性と位相特性を表示手段15に表示する（ステップ8）。

【0181】次に、制御特性分析手段71は、その位相と周波数との関係特性に基づき、 -180° とゲイン交点周波数に対応する位相の余裕量がある基準範囲以内になる周波数を求めて、ゲイン交点周波数が、所定の基準範囲以内になる周波数となるまで各制御ゲインを徐々に変化させる（ステップ9）。

【0182】最後に、得られたゲイン交点周波数とそのゲイン交点周波数に対応する位相量を表示手段15を介して外部記憶装置19に出力する（ステップ10）。

【0183】このように上記実施例によれば、キー入力手段の一回の押下により、制御特性分析手段に基づいて制御系のゲイン交点の周波数と位相の特性を求めることができる。

【0184】また、上記実施例の制御ゲイン調整動作は、位相余裕量が 30° から 50° の規定範囲内となり、且つ複数の制御ゲインの関係が所定の範囲になるように制御ゲインを増分していく。

【0185】また、サーボモータ系が、ロバスト安定性を得るために位相余裕量を 40° から 45° になるように、各制御ゲインを再調整してもよい。

【0186】上記実施例は、キー入力手段14で制御ゲインを設定する際に、アップキーもしくはダウンキーの操作をする毎に制御系の応答を確認するのではなく、一旦キー入力した後、制御特性分析手段71から送られるゲイン交点でのゲイン及び位相の変化を監視しながら、最適な特性が得られるように制御ゲインを自動調整することが可能である。

【0187】従って、上記実施例により、位相余裕量が予め定めた規定範囲内にあって、しかも、ゲイン交点周波数が最も大きい状態に自動的に設定される。

【0188】図10は、本発明による第3の実施例のパラメータ調整装置の構成を示す。第3の実施例のパラメータ調整装置は、負荷が加わったサーボモータのイナーシャを推定し、この推定したイナーシャに基づき、位置比例ゲイン K_p 、速度比例ゲイン $K_v p$ 、及び速度積分

ゲイン $K_v i$ を調整するものである。第 1 の実施例のパラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し基本的には説明を省略する。

【0189】演算モデル 21 は、負荷が印加されたサーボモータの力定数 K_T 、負荷が印加されたサーボモータのイナーシャのブロック $(1/(J_M + J_L))$ 及び慣性要素のブロック $(1/(S * S))$ を備えている。記号 TRQ 、 ACC はそれぞれサーボモータの発生トルク、サーボモータの回転角加速度を表している。

【0190】速度比例ゲイン調整手段が生成する信号 V_g 及び積分器 6 が生成する信号 I を加算した信号 U は、電圧-電流変換器 22 に入力される。電圧-電流変換器 22 は、変換ゲイン V_M を有している。電圧-電流変換器 22 は、信号 U を変換ゲイン V_M 倍した電流指令 I_r を、サーボモータに負荷が印加されサーボモータの共振が生じないときのサーボモータの演算モデル 21 及び乗算器 24 に出力する。演算モデル 21 は、サーボモータの力定数 K_T 、サーボモータ+負荷のイナーシャのブロック $(1/(J_M + J_L))$ 、慣性のブロック $(1/(S * S))$ の各ブロックに分けて表記される。記号 TRQ 、 ACC は、それぞれサーボモータの発生トルク、サーボモータの回転角加速度を表している。電流指令 I_r に基づき、モデルは、回転角度 X_a を発生する。発生した回転角度 X_a は、微分器 7 及び 2 回微分器 23 に入力される。2 回微分器 23 は、回転角度 X_a を 2 回微分して角加速度推定値 $ACC\#$ を求める。求められた角加速度推定値 $ACC\#$ は、演算手段 26 に入力される。

【0191】乗算器 24 は、電流指令 I_r にサーボモータの力定数のノミナル $K_T\#$ を乗算して発生トルク推定値 $TRQ\#$ を求める。求められた発生トルク推定値 $TRQ\#$ は、積分器 25 に入力される。入力された発生トルク推定値 $TRQ\#$ に基づき、積分器 25 は、トルク積分値 $STRQ\#$ を演算手段 26 に出力する。演算手段 26 は、トルク積分値 $STRQ\#$ 及び角加速度推定値 $ACC\#$ に基づき、負荷イナーシャ推定値 $JL\#$ を求める。

【0192】また、サーボモータと同軸に設けられたロータリーエンコーダ 12 (不図示) の出力する回転角度 X_a を用いて、負荷イナーシャ推定値 $JL\#$ を求めたが、ロータリーエンコーダ (不図示) の出力する回転位置 X を用いても同様に負荷イナーシャ推定値 $JL\#$ を推定することが可能である。

【0193】図 11 は、負荷が印加されたサーボモータ

$$TQ3 = TQ2 + a3 + b3 - c3 = a1 + a2 + a3 + b3 - c3$$

【0200】

$$TQ4 = TQ3 + a4 - b4 + c4 = a1 + a2 + a3 + a4$$

【0201】図 12 は、第 3 の実施例の制御パラメータ調整の動作を示すフローチャートである。

【0202】各制御ゲインの初期値が各ゲイン調整手段 3、4、及び 5 に設定される (ステップ 1)。

【0203】サーボモータ加速時の角加速度推定値 ACC

に一定期間、等加速度により回転速度を上昇及び一定期間、等加速度により回転速度を下降を速度指令したときの回転速度指令、加速度、負荷が印加されたサーボモータのイナーシャによるトルク、粘性抵抗によるトルク、偏加重によるトルク及びトルク積分値と時間の関係を表している。

【0194】サーボモータ 10 に負荷 11 が印加された状態で、サーボモータの速度が所定の速度になるまで、一定の正の加速度で加速させた後、サーボモータの速度が所定の速度になるまで、一定の負の加速度で減速させる。この時、加速度が正のとき電流指令 I_r に $K_T\#$ を乗算したトルク $TRQ\#$ を積分し、その積分値を積分値 $ig1$ とする。また、加速度が負のときのトルク $TRQ\#$ に -1 を乗算し積分する。 -1 を乗算したトルク $TRQ\#$ を積分した値を積分値 $ig2$ とする。次にそれぞれの積分値 $ig1$ と積分値 $ig2$ とを足し合わす。これにより、粘性抵抗によるトルク及び偏加重によるトルクを除去することができ、負荷が印加されたサーボモータのイナーシャによるトルクの総和であるトルク積分値 $STRQ\#$ を求められる。このトルク積分値 $STRQ\#$ 及び角加速度の推定値 $ACC\#$ に基づいて、(数 12) に示すような演算を行い、負荷のイナーシャ推定値 $JL\#$ を演算する。(ただし、 $JM\#$ はサーボモータ可動子イナーシャのノミナル値)

【0195】

【数 12】

$$JL\# = \frac{\int TRQ\# dt}{ACC\#} - JM\#$$

【0196】図 11 において、 a_i 、 b_i 、 c_i ($i = 1, 2, 3, 4$) を図の各トルク特性の直線で囲まれた部分の面積とすると、次のような関係が成り立つ。ただし、 $b1 = b2$ 、 $c1 = c2$ 、 $b3 = b4$ 、 $c3 = c4$ とする。

【0197】

【数 13】

$$TQ1 = a1 + b1 + c1$$

【0198】

【数 14】

$$TQ2 = TQ1 + a2 - b2 - c2 = a1 + a2$$

【0199】

【数 15】

$$TQ3 = TQ2 + a3 + b3 - c3 = a1 + a2 + a3 + b3 - c3$$

【数 16】

$$TQ4 = TQ3 + a4 - b4 + c4 = a1 + a2 + a3 + a4$$

$C\#$ 及びトルク積分値 $STRQ\#$ が求められる (ステップ 2 ~ ステップ 5)。

【0204】次にサーボモータ減速時の角加速度推定値 $ACC\#$ 及びトルク積分値 $STRQ\#$ が求められる (ステップ 6 ~ ステップ 9)。

【0205】サーボモータ加速時の角加速度推定値ACC#及びトルク積分値STRQ#と減速時の角加速度推定値ACC#及びトルク積分値STRQ#に基づいて、イナーシャ推定値JL#を演算手段26が求める（ステップ10）。

【0206】ゲイン設定手段2は、このイナーシャ推定値JL#に基づいて各制御ゲインを演算し、ゲインを各ゲイン調整手段3、4、及び5に設定する（ステップ11）。

【0207】ゲインを各ゲイン調整手段3、4、及び5に設定した結果を、サーボモータの制御系が適正制御状態であるかをチェックするために、例えば位置信号Xもしくは速度Vの変化を表示手段15に表示させる。そしてそれらの回転情報を指令と比較して、偏差やハンチングの振幅が規定の大きさよりも大きい場合には、適正制御状態でないと判断され、（ステップ2）から（ステップ12）を繰り返す。

【0208】適正制御状態ならば、求めた負荷イナーシャ推定値JL#、角加速度推定値ACC#、トルク推定値STRQ#等を外部記憶装置に出力し（ステップ13）、処理を終了する。

【0209】このように第3の実施例によれば、サーボモータ加速時の角加速度推定値ACC#及びトルク積分値STRQ#と減速時の角加速度推定値ACC#及びトルク積分値STRQ#に基づいて、負荷のイナーシャが繰り返し推定される。推定された負荷イナーシャ推定値JL#に基づいて、サーボモータの制御系に含まれる複数の制御パラメータの修正が、サーボモータの稼働中にリアルタイムで行われる。

【0210】従って、サーボモータの負荷や摩擦等の大きさが経時的もしくは環境変化等により変化した場合、設備機械を稼働した状態であっても、制御ゲインを再調整をすることができる。また、負荷の大きさが一時的に過大になって、制御ループの安定性が低下したり、制御不可能になった場合は、自動的にその場でそのことを検知するとともに、制御ループが安定になるように制御パラメータの再調整をすることができる。また、設備機械を非常停止するなどの措置をとることもできる。

【0211】図13は、本発明による第4の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。

【0212】第4の実施例の制御パラメータ調整装置は、実施例1の構成要素に加えて共振抑制手段101、及びサンプリング切替手段102を備えている。第1の実施例の制御パラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し、基本的には説明を省略する。

【0213】共振抑制フィルタ101は、ロータリーエンコーダ12及びサンプリング切替手段102を通してキー入力手段14と接続されている。

【0214】また、共振抑制フィルタ101は、微分器

7及び位置比例ゲイン調整手段にデジタルフィルタ（不図示）を通過した回転位置Xを出力する。この共振抑制フィルタ101は、デジタルフィルタを有している。共振抑制フィルタ101は、特定の周波数信号と抑制割合に基づき、特定の周波数帯域でのゲインを抑制するようにデジタルフィルタを改変する。

【0215】特定の周波数信号とは、デジタルフィルタのサンプリングする割合を表している。抑制割合とは、デジタルフィルタに入力される信号の抑制される割合を示している。特定の周波数信号、または、抑制割合が、共振抑制フィルタ101に入力されない場合、共振抑制フィルタ101は、予め共振抑制フィルタ101に設定されている値により、デジタルフィルタを改変する。この第3の実施例では、デジタルフィルタのサンプリングする割合をキー入力手段14から入力しており、具体的には、1kHz、2kHz等のサンプリング周波数をサンプリングする割合として、キー入力手段14から入力する。

【0216】サンプリングする割合を表現する信号は、キー入力手段14からサンプリング切替手段102を通して共振抑制フィルタ101に入力される。

【0217】共振抑制フィルタ101のデジタルフィルタは、一例として（数17）に示すようなパルス伝達関数で表すことができる。

【0218】

【数17】

$$G(z) = 0.25 \cdot (1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3})$$

【0219】図14は、（数17）で表される共振抑制フィルタ101のパルス伝達関数の周波数特性を示す。

図14（a）はサンプリング周波数fsが1kHzの場合、図14（b）はfsが2kHzの場合を示し、それぞれのサンプリング周波数に対応したサンプルホルダを含んだ特性になっている。図14（a）に示した共振抑制フィルタ101は、点線で示したような、75Hzから折れ曲がる一次のローパスフィルタと考えることができる。また、このグラフは、250Hzの整数倍の周波数の近傍でゲインが急激に落ち込む特性になっている。

また、図14（b）は、点線で示したような、150Hzから折れ曲がる一次のローパスフィルタと考えることができる。また、このグラフは、500Hzの整数倍の周波数の近傍でゲインが急激に落ち込む特性になっている。このような2種類のデジタルフィルタは、マイコン（不図示）において（数17）に相当するデジタルフィルタの演算プログラムを実行することにより実現できる。また、この共振抑制フィルタ101が有するデジタルフィルタは、ゲートアレイ等でも実現できる。

【0220】本発明の共振抑制フィルタ101の具体的な動作を説明する。まず、第1の機能は、共振抑制フィルタ101のローパスフィルタとしての特性を生かして

ロータリーエンコーダ 1 2 が生成する回転情報に含まれる高域のノイズや共振成分を抑制する機能である。

【0221】キー入力手段 1 4 でサーボモータの制御系の応答性即ちゲイン交点周波数 f_c を設定する際に、例えばゲイン交点周波数 f_c が 100 Hz という比較的低い場合には、共振抑制フィルタ 1 0 1 のサンプリング周波数 f_s を 1 kHz に設定し、ゲイン交点周波数 f_c が 200 Hz の場合には、サンプリング周波数 f_s を 2 kHz に設定し、自動的に共振抑制フィルタ 1 0 1 がデジタルフィルタを改変する。これによって、各ゲイン交点
10 に対応して、サンプリング周波数 f_s が選択され、この共振抑制効果により、位相特性が改善される。

【0222】第 2 の機能は、デジタルフィルタがもたらす、250 Hz もしくは 500 Hz の整数倍の周波数でのゲインの落ち込みを利用して、共振をキャンセルする機能である。また、この第 4 の実施例の制御パラメータ調整装置が、予め機械的高次共振がある帯域で発生することを予見する手段を備えていても良い。この手段を利用した場合、共振抑制フィルタ 1 0 1 がこのある帯域に
20 基づきデジタルフィルタを改変し、別途対策することなく共振が抑制される。また、共振抑制フィルタ 1 0 1 に転送するサンプリング周波数を切り替えるだけで、様々なローパス特性を実現できる。また、マイコンのプログラムステップ数を削減したり、あるいは同じプログラムステップ数でより多くの種類の共振抑制フィルタを用意することが容易にできる。

【0223】第 4 の実施例の制御パラメータ調整装置によれば、共振抑制フィルタ 1 0 1 を設けることにより、負荷が印加されたサーボモータの機械的高次共振を抑制して制御ゲインを十分に高く設定することができる。さらに、共振抑制フィルタ 1 0 1 がデジタルフィルタを構成した場合に、そのデジタルフィルタのサンプリング周波数をパラメータとして、サーボモータの共振の状況に
30 応じて切り替えることによって、簡易に共振抑制効果を得ることができる。さらに、制御パラメータ調整時に、ゲイン交点周波数の大きさを基準にして、サンプリング周波数により共振抑制フィルタ 1 0 1 がデジタルフィルタを自動的に改変させてもよい。

【0224】このことにより、サーボモータの制御系の安定性が確保できている状態でも、サーボモータの負荷の機械的高次共振のために、制御ゲインを十分に高く設定できないという欠点を防ぐことができる。すなわち、サーボモータの共振を抑制するだけでなく、制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた
40 資源の中で制御ゲイン調整を実現できる。

【0225】図 1 5 は、本発明による第 5 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。

【0226】第 5 の実施例の制御パラメータ調整装置は、第 1 の実施例の制御パラメータ調整装置の構成要素に加えて共振抑制手段 1 0 1、及びサンプリング切替手
50

段 1 0 2、及び共振検出手段 1 0 3 を備えている。第 1 の実施例のサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し、基本的には説明を省略する。

【0227】共振抑制フィルタ 1 0 1 は、ロータリーエンコーダ 1 2 及びサンプリング切替手段 1 0 2 を通して共振検出手段 1 0 3 と接続されている。この共振抑制フィルタ 1 0 1 は、実施例 4 と同じデジタルフィルタを有している。

【0228】共振検出手段 1 0 3 について具体的に説明する。図 1 6 は、第 5 の実施例のブロック図である。機械的な高次共振がサーボモータの制御系に現れる際の信号を、サーボモータに負荷を加えサーボモータの共振が生じない場合のサーボモータの実機モデル 1 0 9 が生成する出力に、サーボモータの共振により発生する機械共振信号を重畳した位置信号 X として仮定する。負荷を加えたサーボモータの推定モデル 1 1 0 は、負荷が印加されたサーボモータの推定モデルである。ロータリーエンコーダ 1 2 が生成する位置信号 X から、負荷を加えたサーボモータの推定モデル 1 1 0 が生成する信号を差し引けば、機械共振 1 0 8 で生成される信号を検出できる。この検出した信号に基づき、サンプリング切替手段 1 0 2 は、共振を抑えるサンプリング周波数 f_s を共振抑制フィルタ 1 0 1 に出力する。また、共振検出手段 1 0 3 が、この検出した信号に基づき、サーボモータの共振を抑えるサンプリング周波数 f_s を発生するサンプル選択手段 1 0 7 を備えていてもよい。

【0229】以下に、第 5 の実施例の制御パラメータ調整装置の動作を説明する。キー入力手段 1 4 を用いて徐々に制御ゲインを増加しているときに、共振検出手段 1 0 3 がサーボモータの共振を検出した場合を考える。

【0230】共振抑制フィルタ 1 0 1 が、比較的高いサンプリング周波数 f_s に基づきデジタルフィルタを改変する（ステップ 1）。

【0231】また、サーボモータの共振が止まらないならば、サンプリング切替手段 1 0 2 がサンプリング周波数 f_s を現在のサンプリング周波数より低く設定する。サンプリング周波数 f_s を変化させる割合は、2 kHz、1 kHz、500 Hz、・・・というように等比級数的でもよいし、2 kHz、1.5 kHz、1 kHz、・・・というように等差級数的でもよい。（ステップ 2）さらに、共振抑制フィルタ 1 0 1 が、低く設定されたサンプリング周波数によりデジタルフィルタを改変し、ステップ 2 を繰り返す（ステップ 3）。位相特性の余裕が十分確保でき、且つサーボモータの共振が止まるまで、一段階ずつサンプリング周波数を下げていく。ただし、これらの動作はゆっくりとした時間間隔で行なわれるのではなく、デジタルフィルタの改変が、定常的に機能可能な範囲内において極めて微小な時間内で行なわれる。

【0232】次に、制御ゲインの調整が完了しているサーボモータの制御系で、何らかの原因で機械的高次共振が発生もしくは増大した場合の制御ゲインの再調整の動作について説明する。

【0233】この場合、予めサーボモータの制御系は最適に調整されており、初期調整時に検出されたサーボモータの共振を抑制するためのデジタルフィルタは、すでに備えられている。共振検出手段103でサーボモータの共振が検出されると、まず安全のために各制御ゲインをサーボモータの共振が検出されなくなるまで大幅に下げる。続いて各制御ゲインを徐々に上げる。この時、共振抑制フィルタ101に入力されるサンプリング周波数 f_s を、サンプリング切替手段102は極めて微小な時間内で切り替えて、どのサンプリング周波数 f_s の時に共振が発生するのかを共振検出手段103が検出する。共振検出手段は、サーボモータの共振が検出されない制御ゲインと、サーボモータの共振が検出されないサンプリング周波数 f_s に基づいて改変されたデジタルフィルタとの組み合わせを設定し、ゲイン調整を終了する。

【0234】このように上記実施例によれば、共振抑制フィルタ101を設けることにより、サーボモータの負荷の機械的高次共振を抑制して制御ゲインを十分に高く設定することができる。さらに、共振抑制フィルタ101をデジタルフィルタで構成した場合に、そのデジタルフィルタのサンプリング周波数を変数として、サーボモータの共振の状況に応じて切り替えることによって簡易に共振抑制効果を得ることができる。

【0235】さらに、共振フィルタ手段101を設けることにより、サーボモータの共振を検出した場合に共振フィルタ手段101はサンプリング周波数に基づき、自動的にデジタルフィルタを改変する。従って、サーボモータの制御系の安定性が確保できている状態でも、負荷11が印加されているサーボモータの機械的高次共振が発生するために、制御ゲインが十分に高く設定されないという欠点を防ぐことができる。すなわち、サーボモータの共振を抑制するだけでなく、制御パラメータ調整の際に特殊な計測設備を用いずに共振を検出することを可能にし、しかも制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でそれを実現し、サーボモータの共振を考慮した制御パラメータ調整を効率よく行うことができる。

【0236】図17は、本発明による第6の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。

【0237】第6の実施例の制御パラメータ調整は、第1の実施例の制御パラメータ調整の構成要素に加えて共振抑制手段101、サンプリング切替手段102、共振分析手段104及びフィルタ設定手段106を備えている。第1の実施例の制御パラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し、基本的には説明を省略する。

【0238】また、ゲイン設定手段は、制御ゲインを増減するキー入力手段14及び表示手段15を通して外部記憶手段19と接続されている。

【0239】負荷11が印加されたサーボモータ10の機械的高次共振を抑制するための共振抑制フィルタ101は、ロータリーエンコーダ12、フィルタ設定手段106及びサンプリング切替手段102を通して共振分析手段104と接続されている。また、共振分析手段104は、表示手段15と接続されている。この共振抑制フィルタ101は、第3の実施例と同じデジタルフィルタを有している。フィルタ設定手段106は、ロータリーエンコーダ12が生成する信号が抑制される割合を共振抑制フィルタ101に入力する。

【0240】図18(a)は、共振分析手段104の具体的構成を示すブロック図である。図18(a)で、共振分析手段104は、離散時間フーリエ変換演算手段72を含んでいる。共振分析手段104は、ロータリーエンコーダ12から発生する信号に基づき、共振の周波数 f とその振幅 g を分析して出力する。

【0241】図18(b)は、ロータリーエンコーダ12から発生する回転情報の周波数を分析した結果を示した特性図である。この図からサーボモータの共振の様子を示している。サーボモータの共振の周波数 f とその振幅 g に基づき、表示手段15は、この特性図を表示することができる。共振の周波数 f とその振幅 g 等のデータを外部記憶手段17に記憶させる。

【0242】以下に、第6の実施例の制御パラメータ調整装置の動作方法について説明する。

【0243】キー入力手段14を用いて手動操作で徐々に制御ゲインを増加しているときに、共振分析手段104が共振を検出した場合を考える。共振抑制フィルタは、予め任意のデジタルフィルタを備えている。これらの共振抑制フィルタ101に入力されるサンプリング周波数 f_s とデジタルフィルタのゲインが急激に落ち込む周波数との関係を予めテーブル化しておく。サーボモータの共振周波数に応じた抑制特性を有するデジタルフィルタのプログラムをテーブルに基づいて自動的に選択する。このテーブルに従い、サーボモータの制御系の位相特性の余裕が、確保できる範囲内で徐々に制御ゲインを上げる。

【0244】次に、調整が完了してサーボモータが常用時に何らかの原因で機械的高次共振が発生もしくは増大した場合の制御ゲイン調整を考える。この場合、予め制御ゲインは最適に調整され、初期調整時に検出されたサーボモータの共振を抑制するための共振抑制フィルタは制御系に挿入されているものとする。共振分析手段104で共振が検出されると、まず安全のために制御ゲインをサーボモータの共振が検出されなくなるまで大幅に下げる。続いて共振周波数に対応したデジタルフィルタを選択し、徐々に制御ゲインを上げる。

【0245】このように上記実施例によれば、共振抑制フィルタ101を設けることにより、負荷が印加されたサーボモータの機械的高次共振を抑制して制御ゲインを十分に高く設定することができる。さらに、共振抑制フィルタ101をデジタルフィルタで構成した場合に、そのデジタルフィルタのサンプリング周波数をパラメータとして、サーボモータの共振の状況に応じて切り換えることによって簡易に共振抑制効果を得ることができる。さらに、共振分析手段104を設けることにより、サーボモータの共振の大きさと周波数を検出し、これに基づいてデジタルフィルタのサンプリング周波数を自動的に設定することができる。したがって、サーボモータの制御系の安定性が確保できている状態でも、モータの負荷の機械的高次共振のために、制御ゲインを十分に高く設定できないという欠点を防ぐことができる。すなわち、サーボモータの共振を抑制するだけでなく、制御パラメータ調整の際に特殊な計測設備を用いずにサーボモータの共振の大きさと周波数を検出することを可能にし、しかも制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でそれを実現し、サーボモータの共振を考慮した制御パラメータ調整を効率よく行うことができる。

【0246】図19は、本発明による第7の実施例の制御パラメータ調整装置の構成を示す。

【0247】第7の実施例の制御パラメータ調整装置は、実施例1の制御パラメータ調整装置の構成要素に加えて共振抑制フィルタ101、サンプリング切替手段102、共振分析手段104、共振音合成手段105及びフィルタ設定手段106を備えている。第1の実施例の制御パラメータ調整装置の構成要素と同一の構成要素には、同一の番号を付し、基本的には説明を省略する。

【0248】共振抑制フィルタ101は、ロータリーエンコーダ12、フィルタ設定手段106及びサンプリング切替手段102を通して共振分析手段104と接続されている。共振分析手段104は、表示手段15及び共振音合成手段105と接続されている。この共振抑制フィルタ101は、実施例4と同じデジタルフィルタである。フィルタ設定手段106は、デジタルフィルタに入力される信号の抑制される割合を共振抑制フィルタ101に入力する。共振分析手段104は、図18(a)で示した第6の実施例と同様に、離散時間フーリエ変換演算手段72を含んで構成され、サーボモータの共振の周波数と振幅を分析して出力する。共振音合成手段105は、周波数合成器122とスピーカ123とを備えている。共振音合成手段105は、共振分析手段104の出力に基づいて可聴共振音を合成する。

【0249】図20(a)は、共振音合成手段105の具体的構成を示すブロック図である。同図で、共振音合成手段105は、共振分析手段104から入力された周波数 f を可聴周波数 F に変換し、ゲイン g を可聴レベル

Gまで増幅する変換演算手段121、その出力を可聴音に合成する周波数合成器122、及びその出力を音として出力するスピーカ123で構成される。

【0250】図20(b)は、周波数変換の一例を示す周波数特性図である。図20(b)は、15kHzと20kHzにサーボモータの共振がある場合を示している。片方の周波数の範囲は可聴範囲を超えており、また、振幅レベルはいずれも極めて低い。それぞれを共振音合成手段105を用いて5kHzと10kHzの可聴周波数に変換するとともに振幅もスピーカ123を駆動するに十分なレベルに増幅する。これによって、調整技術者に対してサーボモータの共振の存在、さらには2種類のサーボモータの共振モードが存在することを知らせる。また、音色とそのサーボモータの共振のモードの対応を予め定めておくことによって、調整技術者がサーボモータの共振の音色を聴いただけで、そのサーボモータの共振の意味するところ、即ち発生している問題の所在やその原因などを、極めて短時間にかつ直感的に把握することができる。

【0251】次に、第7の実施例のサーボモータの制御パラメータ調整装置の動作方法について説明する。まず、制御ゲインを調整中の動作について説明する。キー入力手段14により、徐々に制御ゲインを増加していく。このとき共振分析手段104でサーボモータの共振を検出した場合、その共振周波数に応じた共振音が合成されて出力され、調整技術者にそのサーボモータの共振の存在を知らせるとともに表示手段15にスペクトル分布を出力する。また、その共振周波数を抑制するデジタルフィルタを選択する。サーボモータの制御系の位相特性の余裕が確保できる範囲内において徐々に制御ゲインを上げる。この時、調整技術者は表示手段15に出力されたスペクトル分布を見るだけでなく、サーボモータの共振を音として聴きながら調整するので非常に微妙な調整が可能になる。

【0252】次に、サーボモータのゲイン調整が完了した後、常用時に何らかの原因で機械的高次共振が発生もしくは増大した場合のゲイン調整を考える。この場合、予め制御ゲインは最適に調整され、初期調整時に検出されたサーボモータの共振を抑制するためのデジタルフィルタは予め改変されているものとする。共振音合成手段105でサーボモータの共振が検出されると、まず共振音合成手段105は、共振音で異常事態を知らせるとともに、共振モードの数と種類を音色で知らせる。次に、安全のために制御ゲインをサーボモータの共振が検出されなくなるまで大幅に下げる。その後、共振音合成手段105が共振レベルを検知し続けた場合を考える。共振抑制フィルタ101は、現在使用しているデジタルフィルタを共振周波数に対応するデジタルフィルタに改変する。次に徐々に制御ゲインを上げていく。この時も、調整技術者は表示手段15に表示されたスペクトル分布を

見るだけでなく、サーボモータの共振を音として聴きながら調整するので非常に微妙な調整が可能になる。

【0253】このように上記実施例によれば、共振抑制フィルタを設けることにより、モータの負荷の機械的高次共振を抑制して制御ゲインを十分に高く設定することができる。さらに、共振抑制フィルタをデジタルフィルタで構成した場合に、そのデジタルフィルタのサンプリング周波数をパラメータとして、サーボモータの共振の状況に応じて切り替えることによって簡易に共振抑制効果を得ることができる。さらに、共振音合成手段105でサーボモータの制御系のサーボモータの共振を可聴共振に変換することによって、調整時のサーボモータの共振の微妙な変化をとらえて、より最適に制御ゲインを設定してもよい。したがって、制御ループの安定性が確保できている状態でも、モータの負荷の機械的高次共振のために、制御ゲインを十分に高く設定できないという欠点を防ぐことができる。すなわち、機械サーボモータの共振を抑制するだけでなく、制御パラメータ調整の際に特殊な計測設備を用いずにサーボモータの共振を検出、又はサーボモータの共振の大きさと周波数を検出することを可能にし、しかも制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でそれを実現し、サーボモータの共振を考慮し制御パラメータ調整を効率よく行うことができる。

【0254】

【発明の効果】本発明は上記実施例より明らかなように以下に示す効果を有する。

(1) 速度比例ゲインの値を変更しても、制御系のゲイン交点での位相余裕の値が変わらない様に速度積分ゲイン、位置比例ゲインの値が速度比例ゲインの変化率に基づいて自動的に修正されるので、初期の速度比例ゲイン、速度積分ゲイン、位置比例ゲインの値を設定した後は、速度積分ゲイン、位置比例ゲインの値を再調整することなく、速度比例ゲイン値のみの変更で制御パラメータの調整を行うことができる。

(2) 表示手段の画面を見てモータの回転速度、回転位置、トルク等の変動を観察することができるので、オシロスコープ等の計測装置がなくとも、制御状態を常に把握しながら制御パラメータの調整を行うことができる。

(3) 制御ゲイン値を変更する場合は、キー入力手段を使用して制御ゲイン値を入力するので、制御状態を確認しながら徐々に制御ゲイン値を変更することができ、制御ゲイン値の適正範囲を越えた数値を入力することにより制御状態が急変して過大な共振を起こすことを防ぐことができる。

【0255】また、制御ゲイン値はキー入力手段の一回の押下で、僅かずつ増減できるように設定されており、さらにその増減の割合を切り換える切り換え手段により、制御パラメータ調整精度を可変することができるので、初期段階に制御ゲイン値の増減の割合を大きくして

大まかな調整を行い、次に制御ゲイン値の増減の割合を小さくし精密な調整を行うという効率の良い調整を行うことができ、各制御ゲインの値をわずかず増減して入力するという作業を一回一回数値を入力しつつ行うことで微妙な調整がしづらいという欠点を防ぐことができる。

(4) オシロスコープ等の計測装置がなくとも、モータの制御状態を調整技術者が表示手段の画面を見て常に把握しながら、制御パラメータの調整を行うことができるとともに、後日再調整の際にモータの制御データを参照することができる。

(5) キー入力手段の一回の押下で、制御特性分析手段に基づいて制御系のゲイン交点の周波数と位相の特性を計測して、位相余裕量が一定となるように複数の制御ゲイン値間のバランスを保ちつつ制御ゲイン値を増分して、位相余裕量が予め定めた規定範囲内にあってしかもゲイン交点周波数が最も大きい状態に自動的に設定することができる。したがって、各制御ゲインの値をわずかず増減して入力するという作業を一回一回数値を入力しつつ行うことで微妙な調整がしづらいという欠点を防ぐことができる。

(6) モータの負荷や摩擦等の大きさが経時的もしくは環境変化等に応じてわずかに変化した場合には、設備を稼働した状態で制御ゲインを再調整することができる。また、負荷の大きさが一時的に過大になって制御ループの安定性が低下したり、制御不可能になった場合には、自動的にその場でそのことを検知するとともに、制御ループが安定になるように制御パラメータを再調整したり、設備機械を非常停止するなどの措置をとることができる。

(7) 制御ループの安定性が確保できている状態でも、モータの負荷の機械的高次共振のために、ループゲインを十分に高く設定できないという欠点を防ぐことができる。すなわち、機械共振を抑制するだけでなく、制御パラメータ調整の際に特殊な計測設備を用いずに共振を検出もしくはその大きさと周波数を検出することを可能にし、しかも制御パラメータ調整装置のハードウェア、ソフトウェアの限られた資源の中でそれを実現し、効率よく共振を考慮した制御パラメータ調整を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における制御パラメータ調整装置のブロック図

【図2】本発明の一実施例における制御パラメータ調整装置の具体的構成を示す構成図

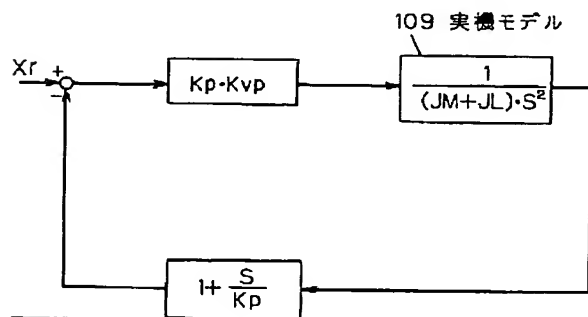
【図3】本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整方法を示すフローチャート

【図4】サーボモータの位置制御ループを一巡ループに置換した場合の制御系の構成を示すブロック図

【図5】(a)は記憶手段18の構成図

- (b) は第 1 のメモリ手段 3 2 と出力手段 3 3 の構成図
 (c) は出力手段 3 3 から出力される信号の波形図
 【図 6】 (a) は表示手段 1 5 の構成図
 (b) は表示倍率を可変した波形図
 【図 7】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整装置のブロック図
 【図 8】 本発明の一実施例における制御特性分析手段 7 1 の具体的構成を示すブロック図
 【図 9】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整装置の動作を示すフローチャート
 【図 10】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御系のブロック図
 【図 11】 サーボモータの回転速度指令、加速度、トルク、トルク積分値の波形図
 【図 12】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整方法を示すフローチャート
 【図 13】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成図
 【図 14】 本発明の一実施例における共振抑制手段のバース伝達関数の周波数特性図
 【図 15】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成図
 【図 16】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御系のブロック図
 【図 17】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成図
 【図 18】 (a) は共振分析手段の具体的構成を示すブロック図
 (b) は周波数分析された共振の様子を示す周波数特性図
 【図 19】 本発明の一実施例におけるサーボモータの制

【図 4】



御パラメータ調整装置の構成図

【図 20】 (a) は共振音合成手段の具体的構成を示すブロック図

(b) は周波数変換の様子を示す周波数特性図

【図 21】 サーボモータの制御系の構成を示すブロック図

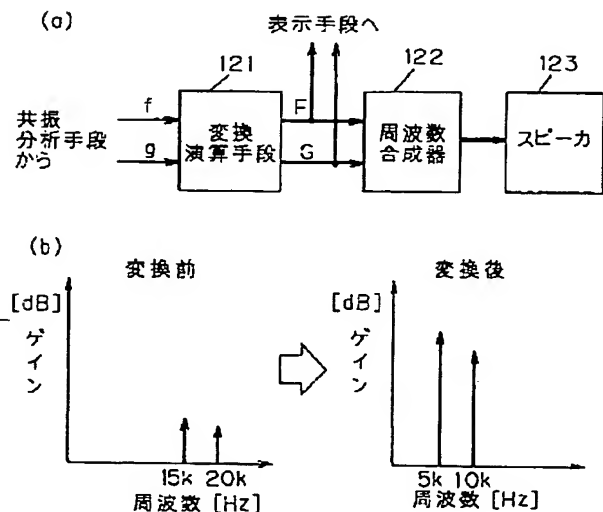
【図 22】 従来のサーボモータの制御パラメータ調整装置の構成図

【図 23】 サーボモータの制御系の速度に関する開ループ伝達関数の周波数特性を示すボード線図

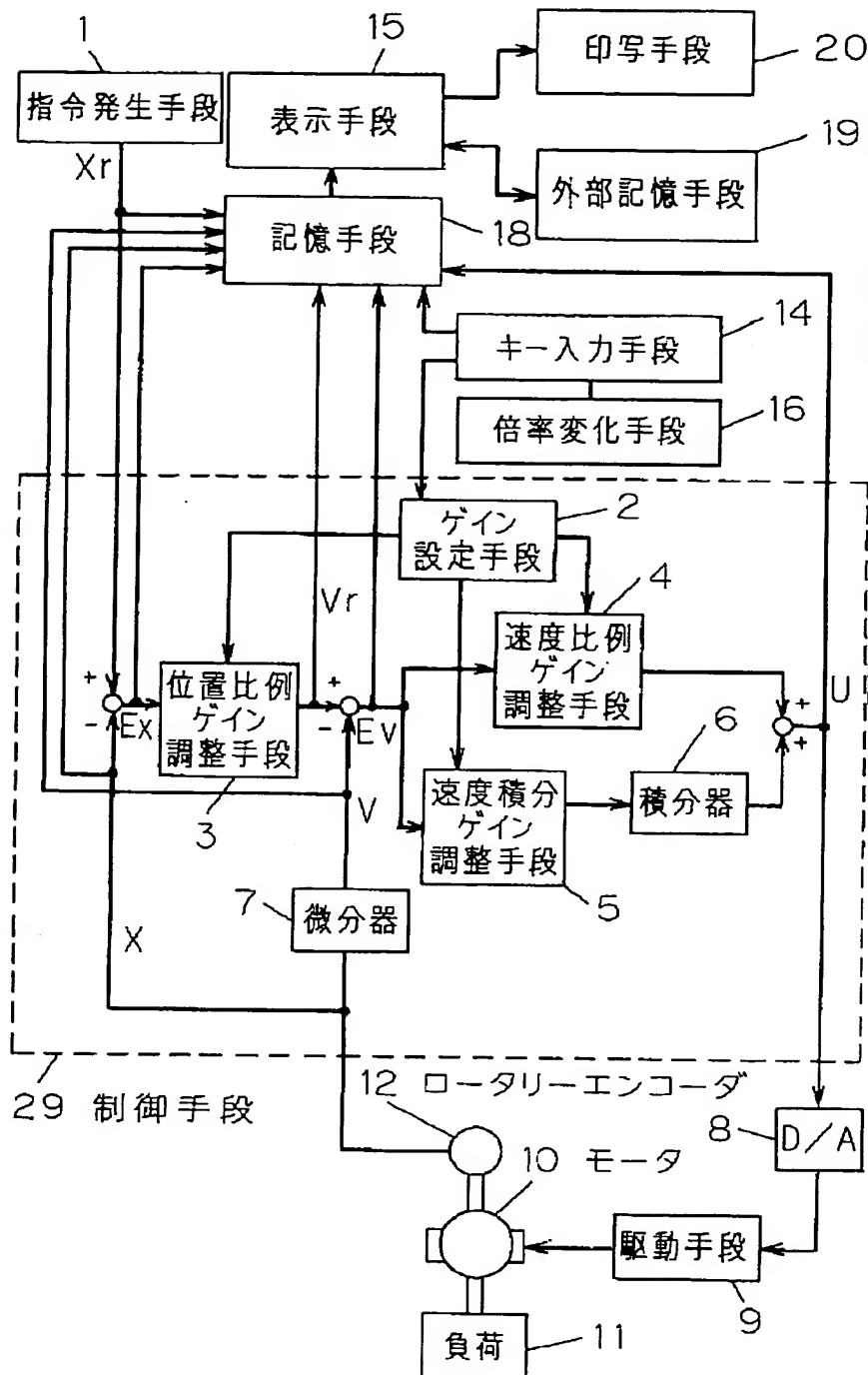
【符号の説明】

- 1 指令発生手段
- 2 ゲイン設定手段
- 3 位置比例ゲイン調整手段
- 4 速度比例ゲイン調整手段
- 5 速度積分ゲイン調整手段
- 6 積分器
- 7 微分器
- 8 D/A コンバータ
- 9 駆動手段
- 10 サーボモータ
- 11 負荷
- 12 ロータリーエンコーダ
- 13 数値入力手段
- 14 キー入力手段
- 15 表示手段
- 16 倍率変化手段
- 17 キーボード
- 18 記憶手段
- 19 外部記憶手段
- 20 印写手段

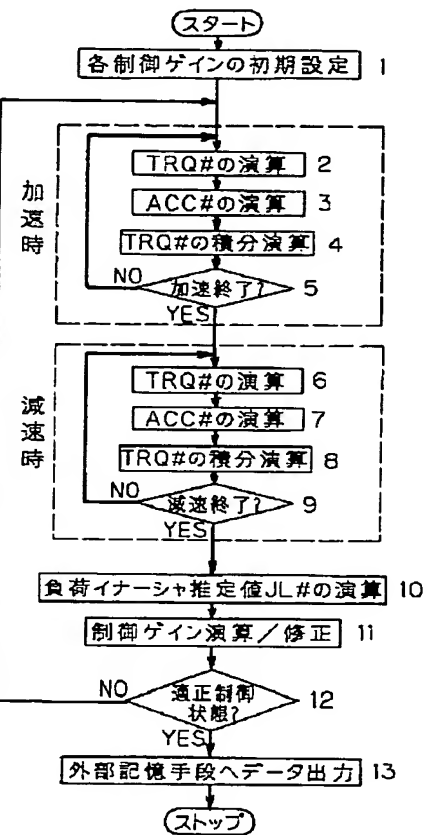
【図 20】



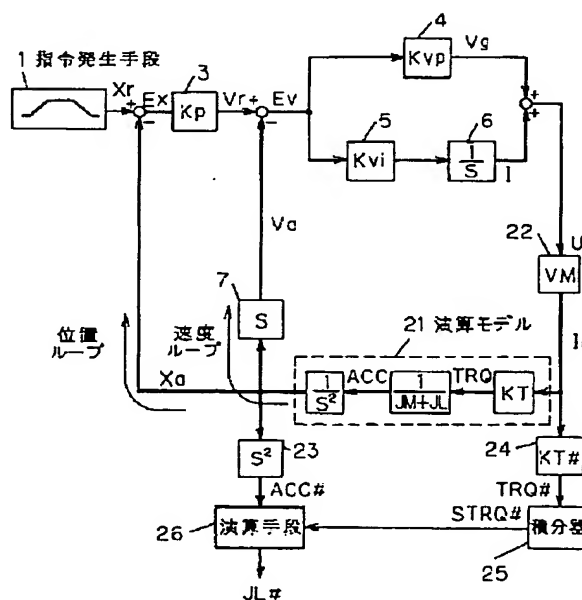
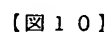
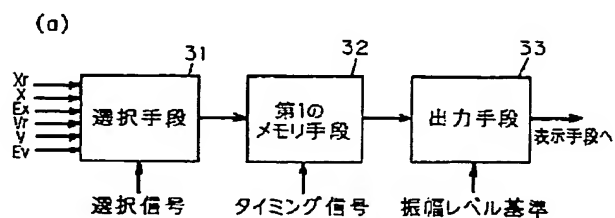
〔図 1〕



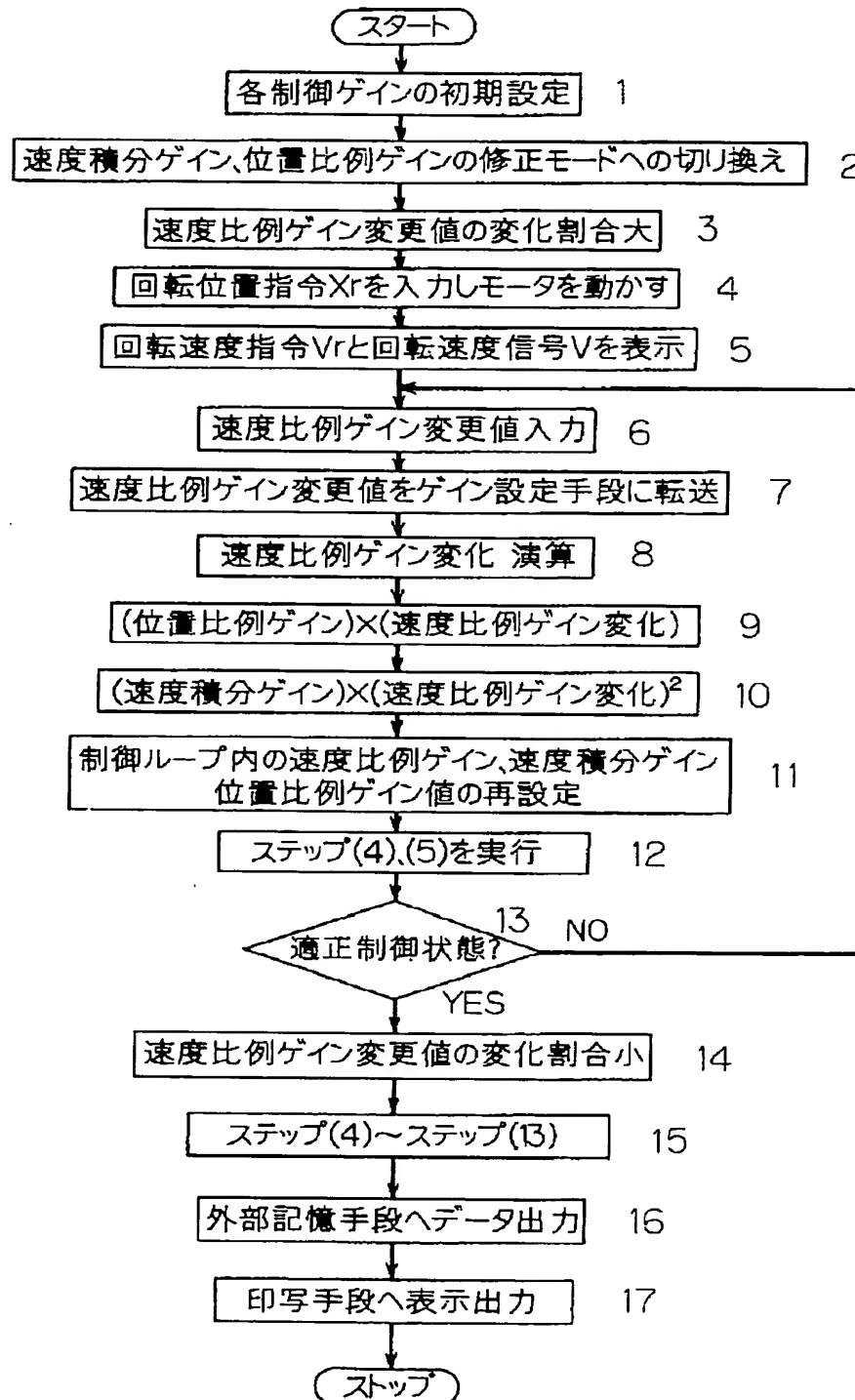
〔図 12〕



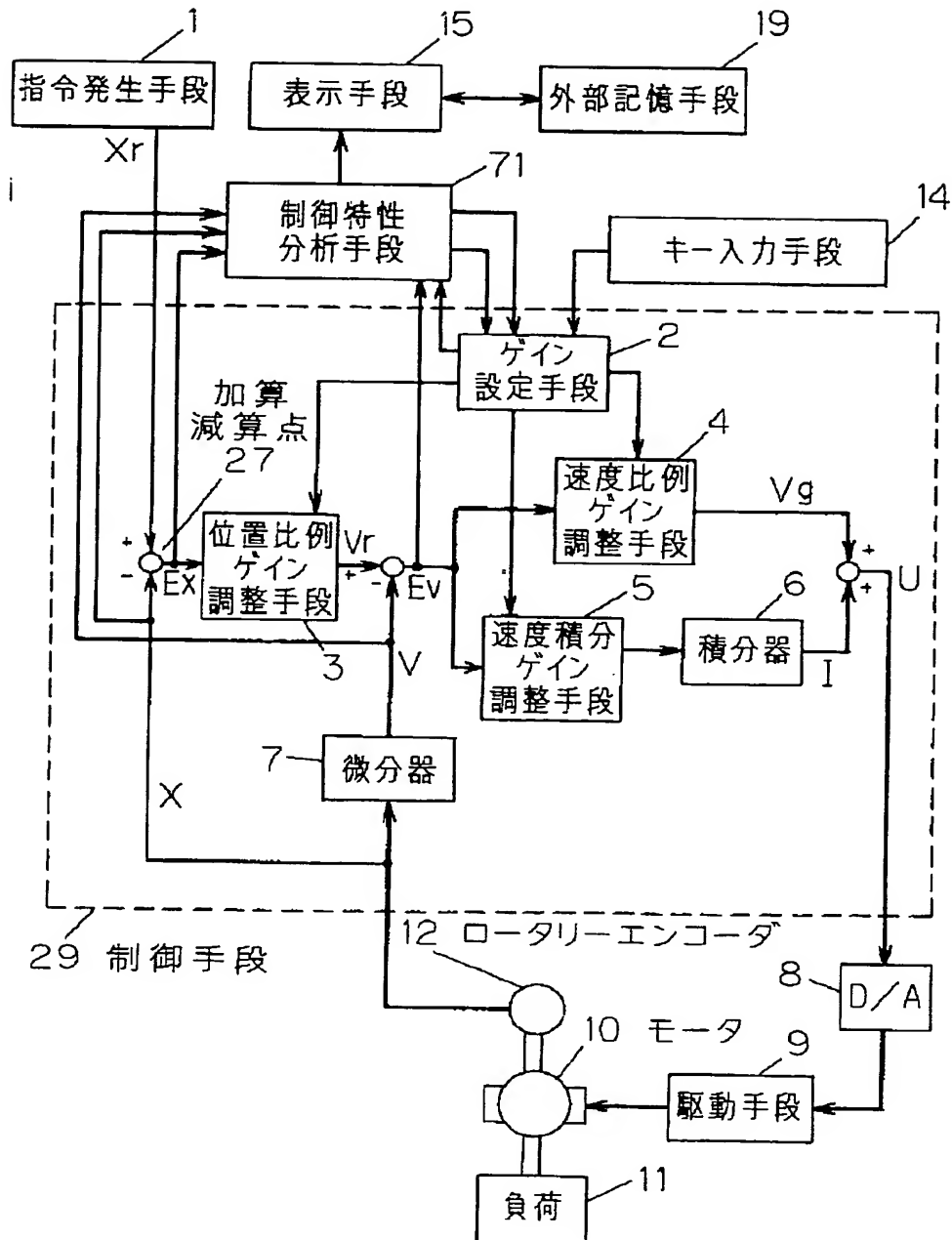
【图 5】



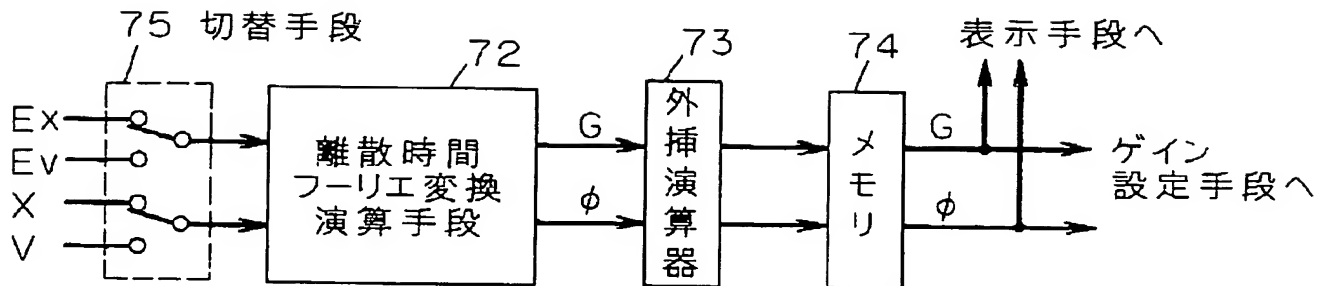
【図 3】



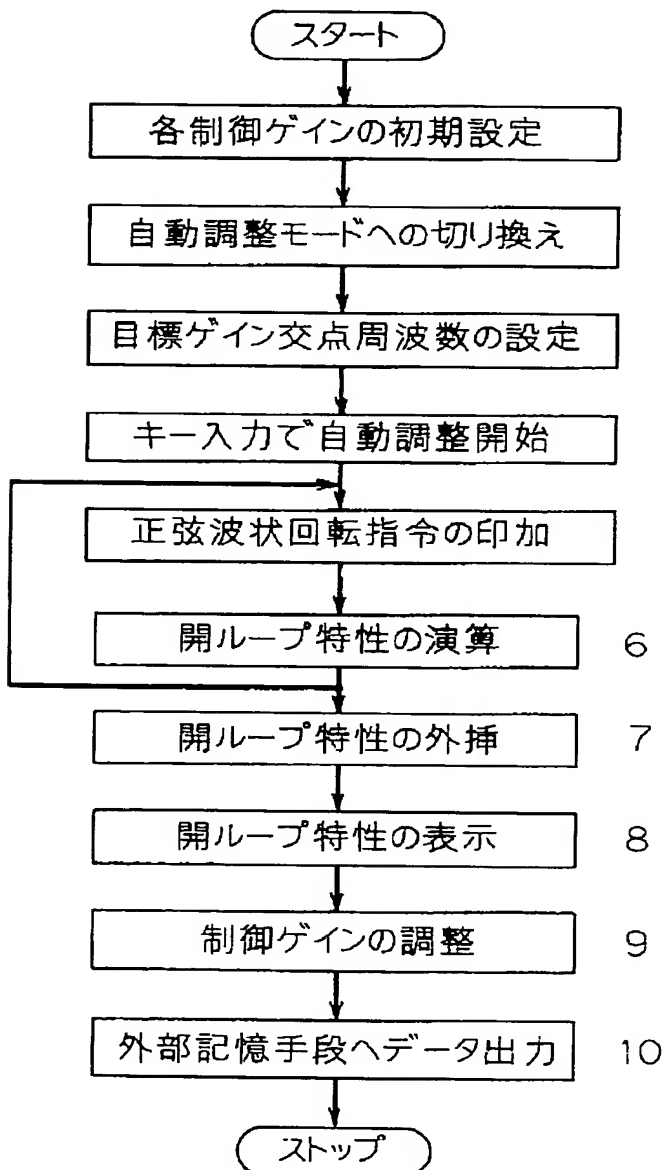
(図 7)



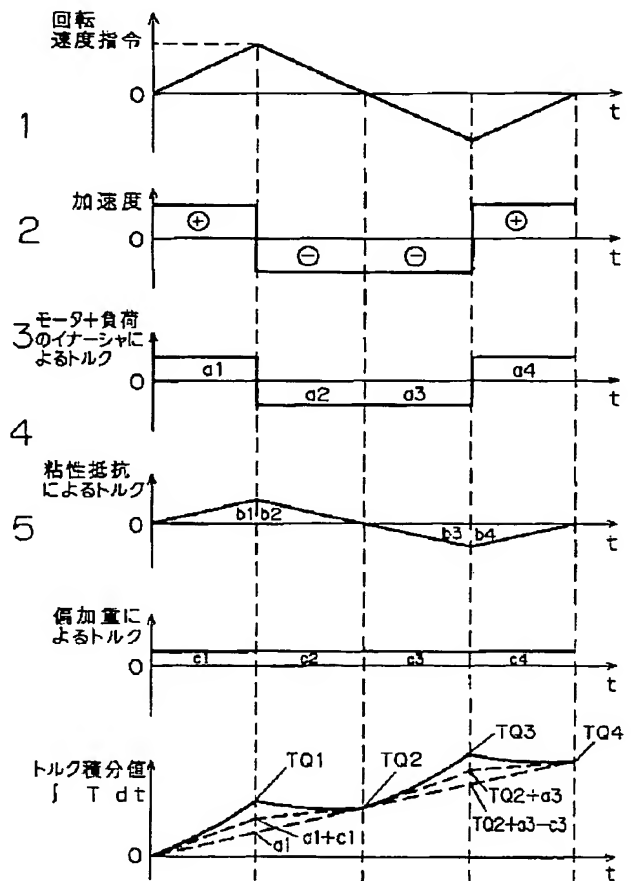
【図 8】



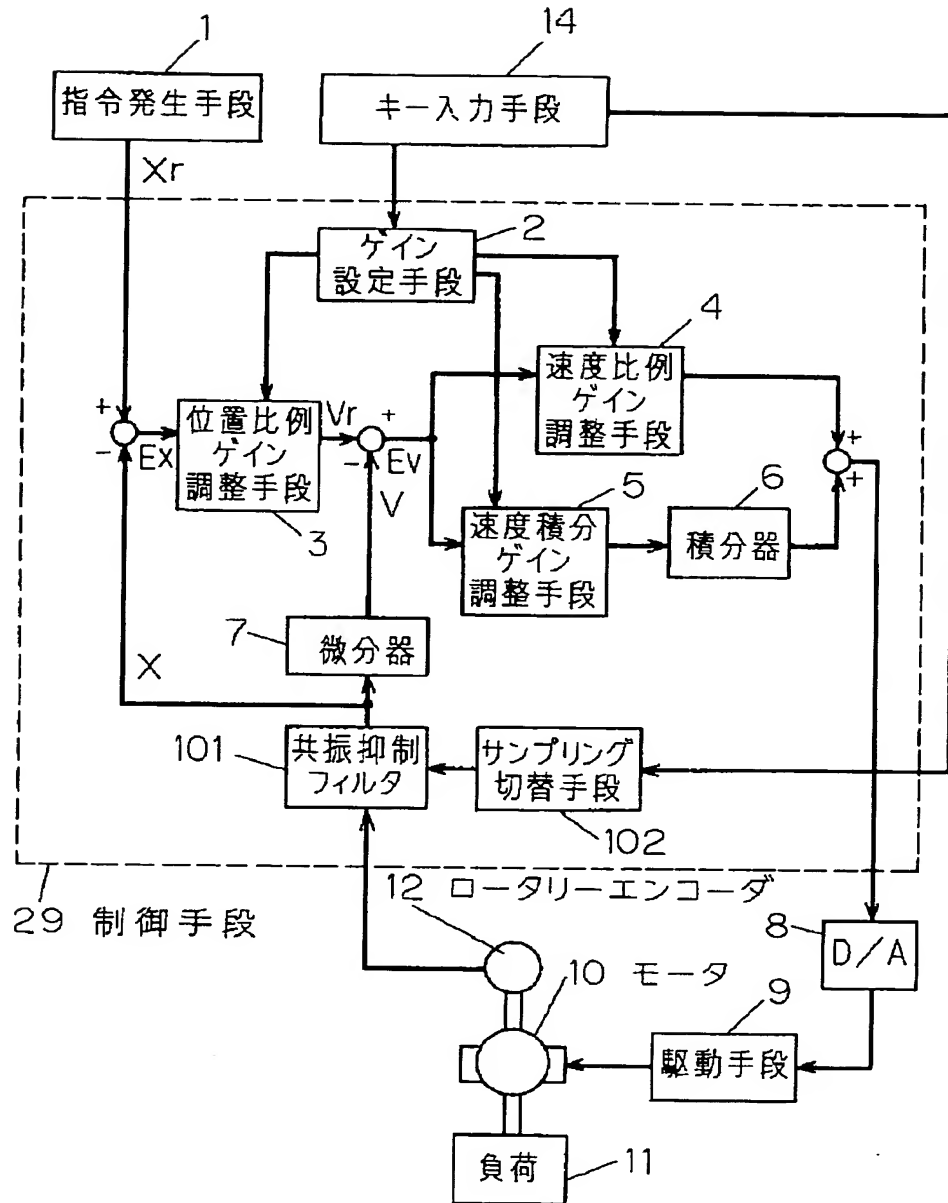
【図 9】



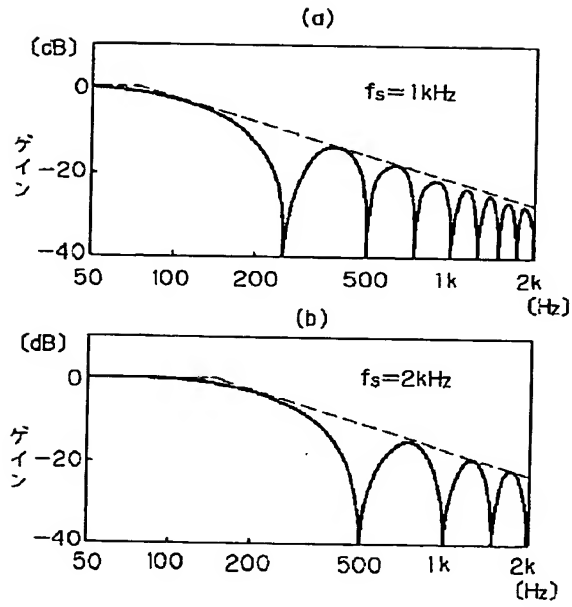
【図 11】



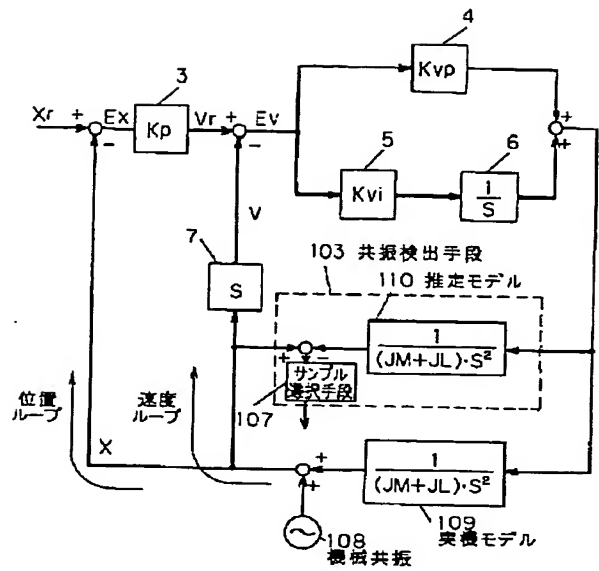
【図 13】



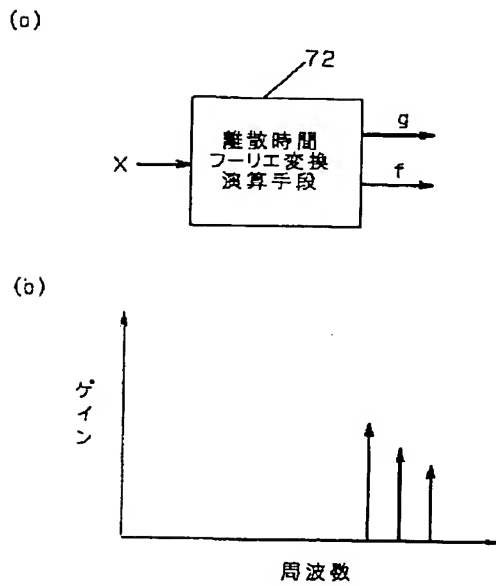
【図 1 4】



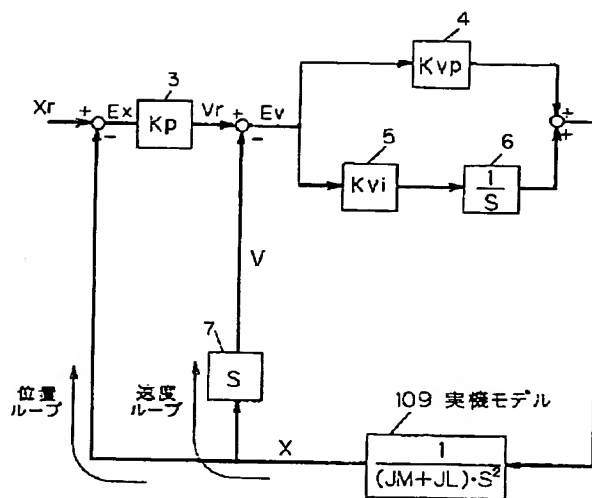
【図 1 6】



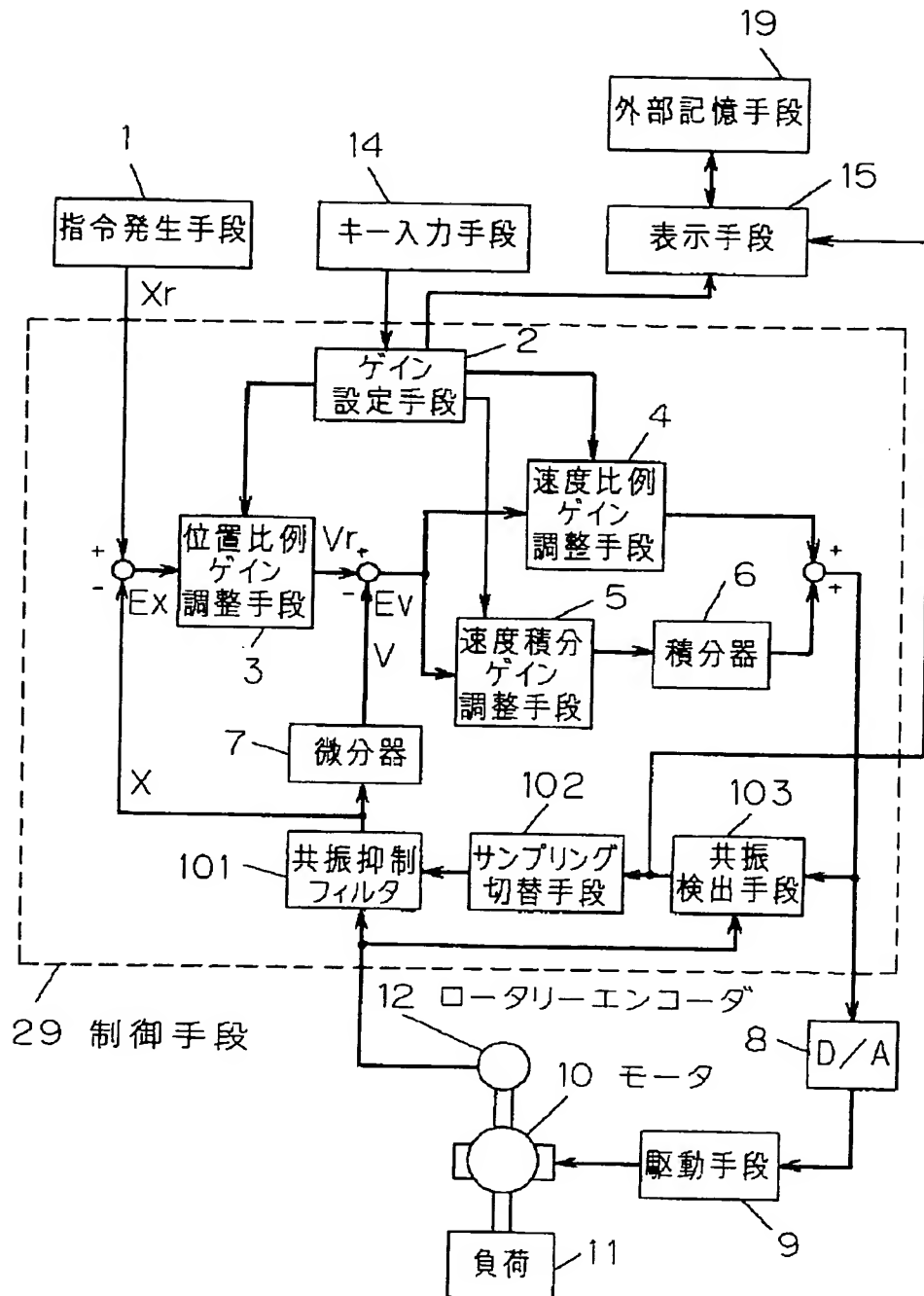
【図 1 8】



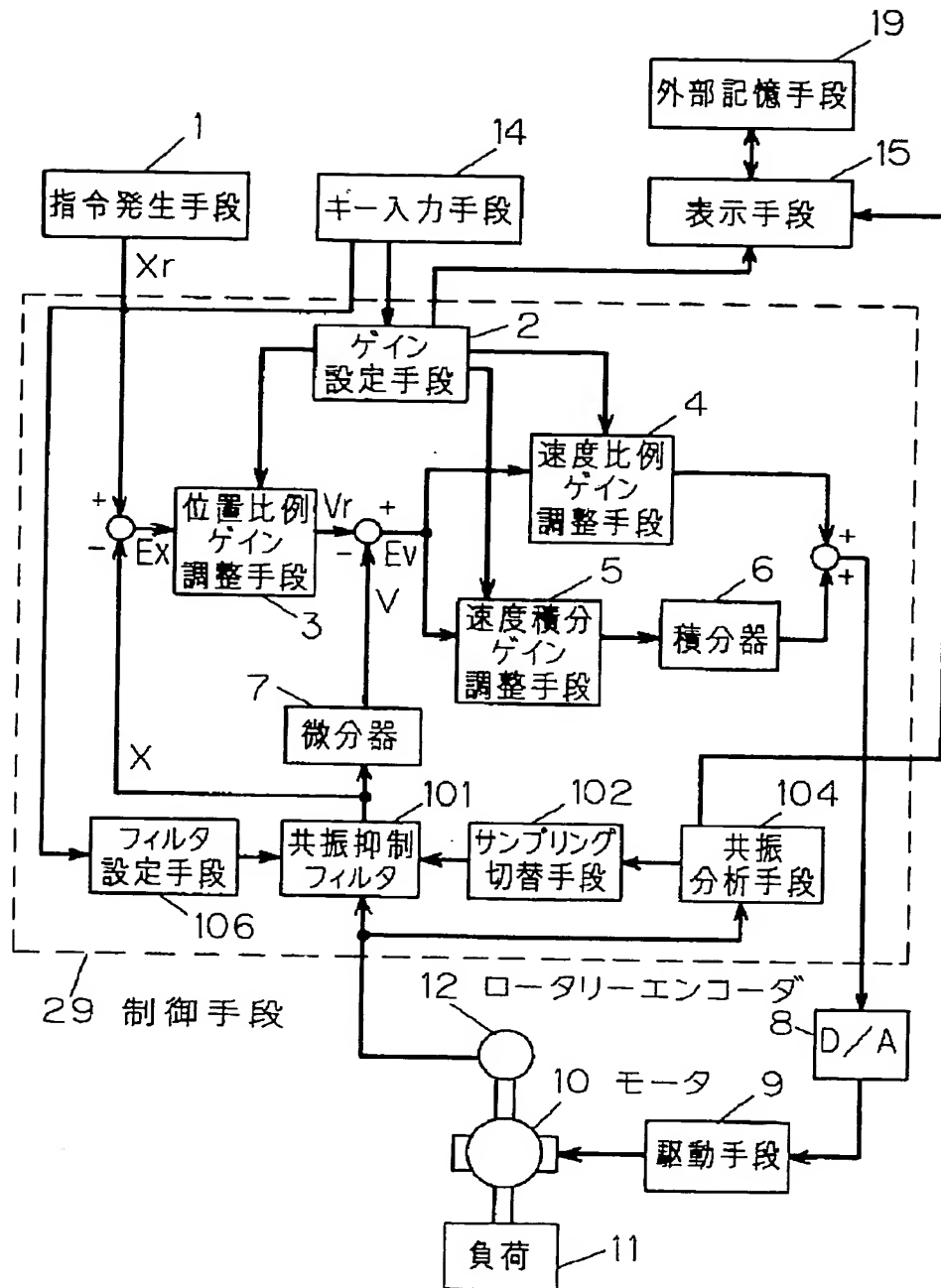
【図 2 1】



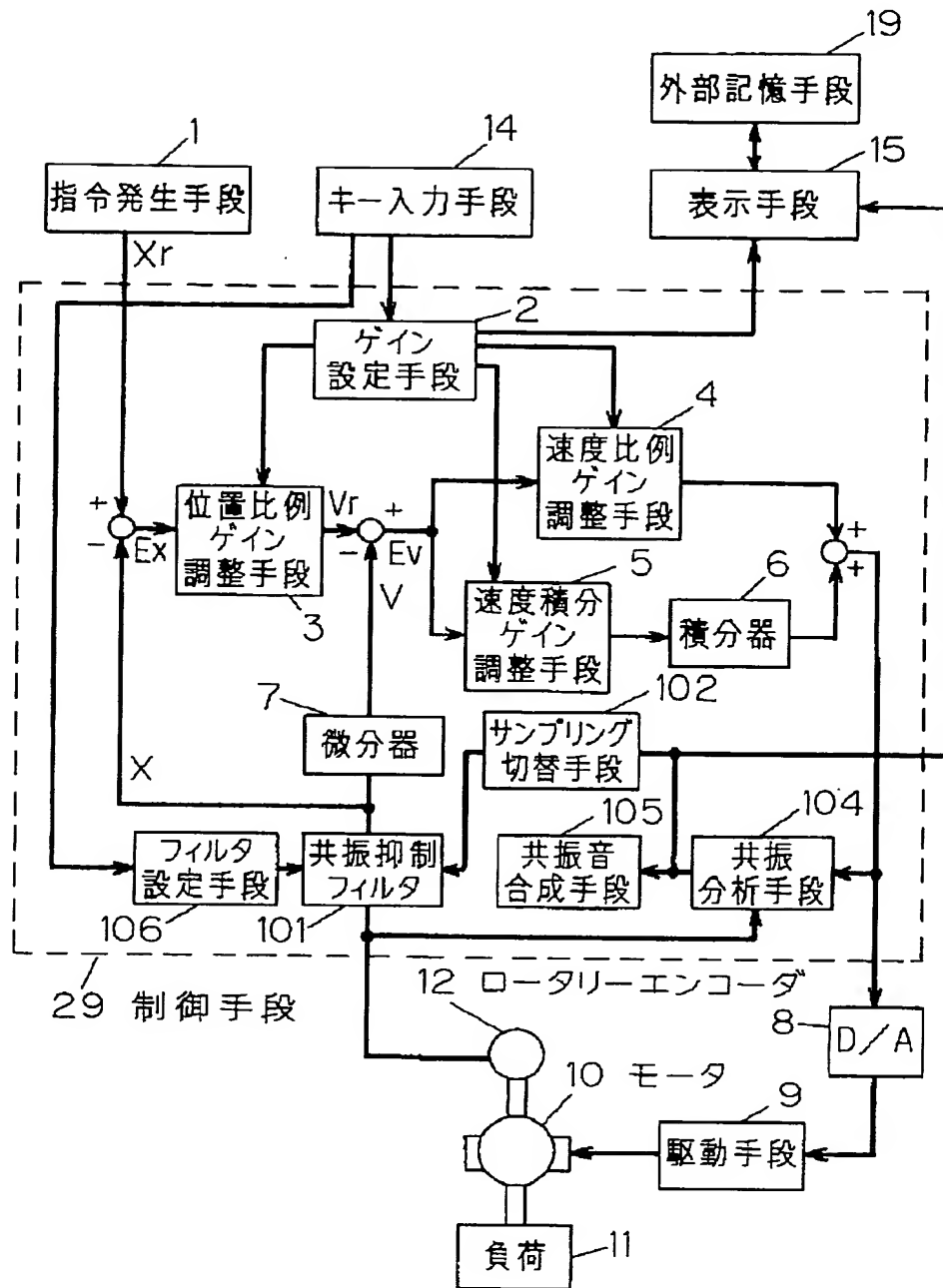
【図 15】



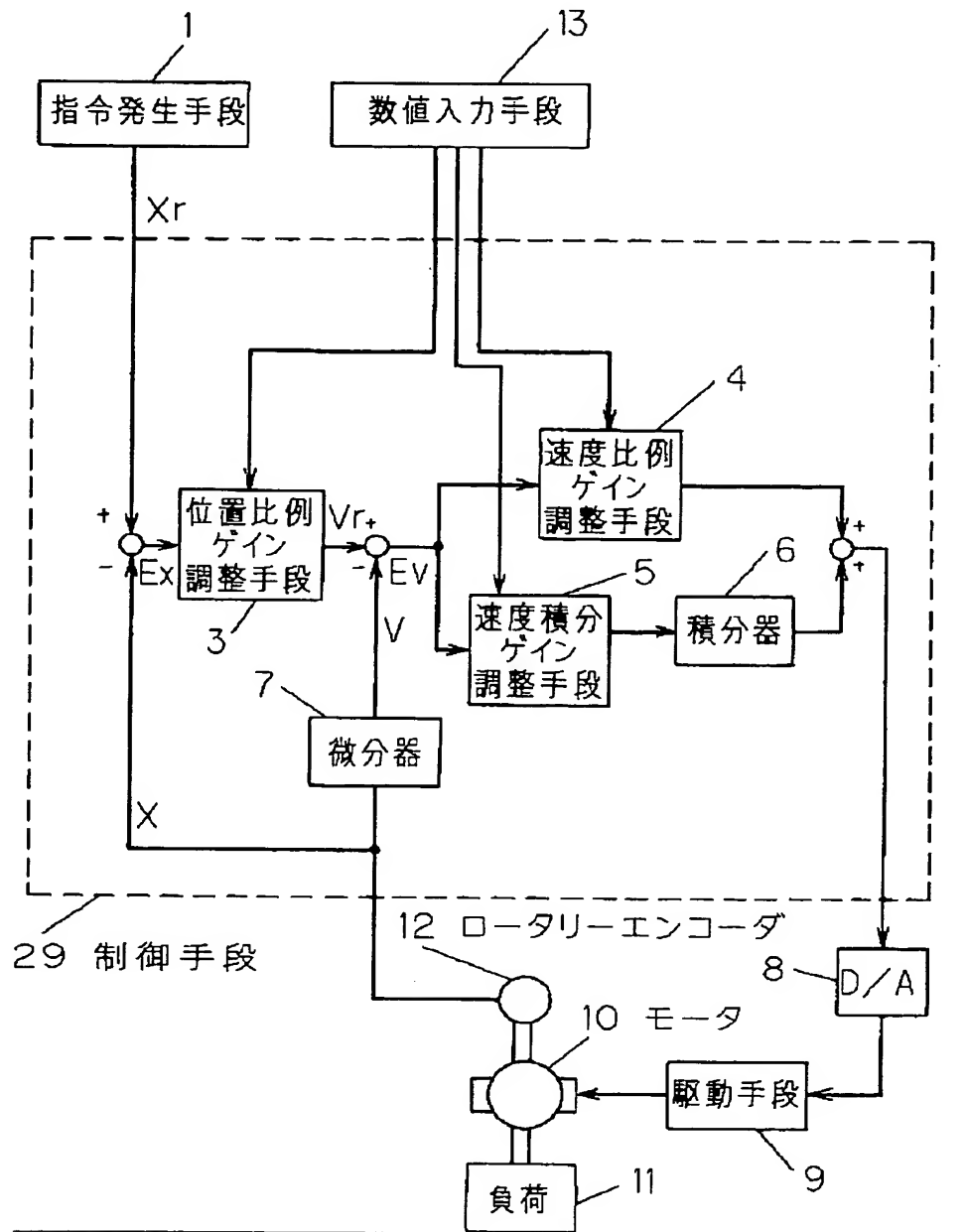
【図 17】



【図 19】



(図 2 2)



【図 2 3】

